

Voimakattilan sähköjärjestelmän optimointi

Holpainen Juri

Sähkötekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö
Sähkövoimatekniikka
Insinööri(AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Haluan kiittää Andritz Oy:tä mielenkiintoisen opinnäytetyön aiheesta ja erityisesti Automation osaston johtajaa Samuli Kinnusta, jolta opinnäytetyön aihe saatiin. Myös haluan kiittää Andritzin muuta henkilökuntaa tietojen hankinnasta ja tarjouskyselyistä ja muista tietojen hankkimisesta opinnäytetyötäni varten.

Haluan kiittää opinnäytetyön valvojaani Jaakko Ettoa hyvistä neuvoista ja kommentteista sekä nopeista vastauksista kysymyksiini työn edetessä.

Kiitokset perheelleni jaksamisesta sekä uskomisesta siihen, että työ vielä jonain päivänä on valmis.

Kemissä 7.5.2014

Juri Holpainen

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Sähkövoimatekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Juri Holpainen
Opinnäytetyön nimi:	Voimakattiloiden sähköjärjestelmien optimointi
Sivuja (joista liitesivuja):	61 (11)
Päiväys:	10.5.2014
Opinnäytetyön ohjaaja(t):	DI Jaakko Etto
<p>Opinnäytetyö tehtiin Andritz Automationille, joka toimittaa sähkö- ja automaatio järjestelmiä eri laitoksille. Tässä työssä vertaillaan kattilaitoksen sähköjärjestelmien nimellisjännitteiden vaikutusta toteutusratkaisuihin sekä toteutuskustannuksiin ja häviöihin. Työn tavoitteena oli saada vertailutietoa teknisesti ja taloudellisesti erilaisten sähköjärjestelmien investointikustannuksista ja käytön aikaisista kustannuseroista. Tavoitteena oli saada dokumentoitua helposti luettavien kaavioihin ja taulukoihin saadut tulokset.</p> <p>Opinnäyteyössä tarkasteltiin yhtä tuotantolaitostapaa, jossa vertailtiin 400V ja 690V jännite järjestelmiä keskenään. Lisäksi oli kolmella erilailla toteutetun tuotantolaitoksen sähköverkot, joiden kesken suoritettiin vertailua. Työssä ei suoritettu vertailua varmennettujen järjestelmien kanssa, koska ne on toteutettu kaikissa tapauksissa yhdenmukaisesti. Tilat ja talotekniikka jätettiin myös pois vertailusta. Käytetty ja esitetty laskelmien perustana oleva teoria löytyy alan oppikirjoista, julkaisuista, standardeista ja laitevalmistajien manuaaleista. Andritzin omista dokumenteista, tarjouksista ja suunnitelmista saatiin tietämys hintatasosta eri vaihtoehdoilla, vertailtavat laitteistot ja niihin liittyvät materiaalit.</p> <p>Työn tuloksena saatiin erilaisia taulukoita, joissa näkyi laskenta tulokset häviöistä ja investointikuluista eri järjestelmien välillä. Lisäksi esitettiin kaavioina laskennasta saatuja tuloksia, jotta niistä olisi helppo nähdä tulokset ja vertailut. Vertailtiin yksikisko- ja kaksikiskojärjestelmien kustannuseroa ja sitä milloin kaksikiskojärjestelmä on kannattavaa toteuttaa taloudellisesti. Työssä saavutettiin asetetut tavoitteet: kustannusvertailut eri jakelujännitteiden välillä ja kolmella eri toteutustavalla tehty järjestelmien vertailu.</p>	
Asiasanat: Voimalaitos, sähköverkko, kustannusvertailu, häviöt.	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Education

Degree programme:	Electrical Engineering
Author(s):	Juri Holpainen
Thesis title:	Optimization of Electrical Systems of Power Boiler
Pages (of which appendixes):	61 (11)
Date:	10 May 2014
Thesis instructor(s):	Mr Jaakko Etto, MSc, (El.eng.)
<p>The thesis was made for Andritz Automation, a supplier of electrical and automation systems for different plants. In this work, the effects of the nominal voltage of the electrical systems on implementation solutions and implementation costs and losses were compared. The aim of thesis was to obtain comparative data on the technical and economic various electric systems, investment costs and in-service cost differences. The goal was to get a documented easily-read charts and tables in the results.</p> <p>In the thesis, one production method, where comparison of 400 and 690 voltage systems were compared. There were also three differently implemented production plant grids, which were compared. The work did not compare the certified systems because they are implemented consistently in all cases. Facilities and building services were left out. The used and the calculations based on the theory can be found in the field textbooks, in publication, standards and in the manufactures' manuals. Andritz's own documents, bids and plans gave knowledge of the price levels of the various alternatives as well as of compared the hardware and materials.</p> <p>The results were a variety of tables which was showed in the calculation results of losses an investment costs between different systems. The calculation results were presented in the form of the charts so it would be easy see results and comparisons. The costs one rail system and two rail system were compared and it was stated when the two rail system is profitable to implement. The work has achieved its objectives: cost comparison between different distribution of tensions and the comparison of systems implemented in three different way.</p>	
Keywords: Power plant, grid, cost comparison, losses.	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 KATTILALAITOS	9
3 VOIMALAITOSTEN SÄHKÖVERKKO	10
3.1 Voimalaitosten sisäinen sähköverkko jännite vaihtoehdot.....	10
3.2 Voimalaitosten omakäyttösähkö	10
3.3 Liityntä sähköverkkoon	10
3.4 Sähköverkon rakenteet	11
3.5 Kiskosto ja kojeistoratkaisut	14
3.6 Varavoima ja varmennetut järjestelmät.....	18
3.7 Automaatio ja ohjaus	19
4 MITOITUS JA VALINNAT	20
4.1 Nimellisvirrat ja jännitteet	20
4.2 Vikavirrat ja suojaus.....	20
4.2.1 Oikosulkuvirtojen laskeminen Theveninin menetelmällä.....	21
4.2.2 Erilaisten vikatapausten vertailu	24
4.2.3 Oikosulkupiirin komponentit	25
4.2.4 Ominaisoikosulkuteho	28
4.3 Sähköverkon rakenne	30
4.4 Häviöt	31
4.4.1 Kaapelihäviöt	31
4.4.2 Muuntajahäviöt	31
4.4.3 Moottorin häviöt	32
4.4.4 Taajuusmuuttajahäviöt	33
4.5 Häviö ja investointikustannukset.....	33
5 JAKELUJÄRJESTELMIEN VERTAILU	36
5.1 Jännite valintojen vaikutus	36
5.2 Jännitteiden vertailu 400V ja 690V	36
5.3 Tulokset	38

6	MALLIVOIMALAITOKSIEN VERTAILU	42
6.1	Jännitevalinnat ja rakenneratkaisut	42
6.2	Järjestelmä 1	43
6.3	Järjestelmä 2	44
6.4	Järjestelmä 3	45
7	KAHDENNETTUIJEN JÄRJESTELMIEN HYÖTY	46
8	POHDINTA	47
	LÄHTEET	48
	LIITTEET	50

1 JOHDANTO

Andritz Oy valmistaa voimakattiloita leijupetitekniikalla. Kyseisten kattiloiden kokoluokka on tyypillisesti 60-200t/h höyryä ja sähkötehona 20-100MW. Asiakkaina ovat sellu- ja paperitehtaat sekä kunnalliset energiayhtiöt. Maantieteellisestä alueesta ja loppukäyttäjistä riippuen tyypilliset toteutustavat sähköjärjestelmälle ovat hyvinkin erilaiset, johtaen suurin eroihin kokonaiskustannuksissa.

Opinnäytetyön aiheena on sähkötekniisten järjestelmien vertailu niin tekniseltä, kuin taloudelliseltakin kannalta. Järjestelmien toteutustavat vaihtelevat eri maissa ja teollisuusaloilla. Tavoitteena on tehdä kustannusvertailu 15 vuoden elinkaarimallilla sekä kahdennettujen järjestelmien toteutuskustannusten vertailu suhteessa mahdollisesti saatavaan hyötyyn, jos keskijännite jakelujärjestelmä olisi poissa käytöstä. Työssä ei tehdä vertailua eri keskijännitejakeluiden välillä johtuen siitä, että kattiloiden tehot sen verran pieniä ettei jännite valinnoilla ole suurta merkitystä keskijännitekojeiston hintaan. Lisäksi asiakkailta on jo omat keskijännitejakelu verkkonsa valmiina.

Andritz Group toimii maailmanlaajuisesti yli 220 paikassa ja työntekijöitä on noin 23900. Se on yksi johtavista toimittajista maailman laajuisesti vesivoima, sellu- ja paperiteollisuudelle, metalli- ja terästeollisuudelle sekä kunnallisten että teollisten erotusteknologia ratkaisuisissa. Lisäksi Andritz tarjoaa erilaisia teknologia ratkaisuja kuten automaatiojärjestelmiä, laitoksia eläinrehun ja biomassapellettien tuotantoon, pumppuja, laitteita kuitukankaiden ja muovikalvojen valmistukseen. Toimialueeseen kuuluu myös höyrykattilalaitoksien, biomassakattiloiden ja kaasutuslaitoksien toimittaminen energian tuotantoon. Andritz toimittaa savukaasulaitokset, kuitulevytuotantolaitokset, lietteen käsitteilylaitteet lämmöntuotantoon ja biohiililaitokset. (Andritzin [www-sivut](http://www.andritz.com) 2014, hakupäivä 24.02.2014)

Andritz AG:n perusti unkarilainen yrittäjä Josef Körösi vuonna 1852 Andritzissa Grazin esikaupungissa. Alun perin yhtiö oli rautavalimo. Nopeasti perustamisen jälkeen yhtiö alkoi tuottaa suurempia laitteita, kuten nostureita, pumppuja, vesiturbiineja ja myöhemmin myös siltoja, höyrykattiloita ja moottoreita sekä kaivostyövälineitä. Nykyään toimintaa on monipuolisesti eri aloilta. (Andritzin [www-sivut](http://www.andritz.com) 2014, hakupäivä 24.02.2014)

Andritz Oy on yksi maailman johtavista sellu- ja paperiteollisuuden järjestelmien, laitteiden ja palveluiden toimittajista. Sen tuote alueita ovat puunkäsittely, kuituprosessit, kemikaalien talteenotto ja massankäsittely. Andritz Oy tarjoaa myös erilaisia biomassakattiloita ja kaasutuslaitoksia energian tuotantoon. (Andrizin www-sivut 2014, hakupäivä 24.02.2014)

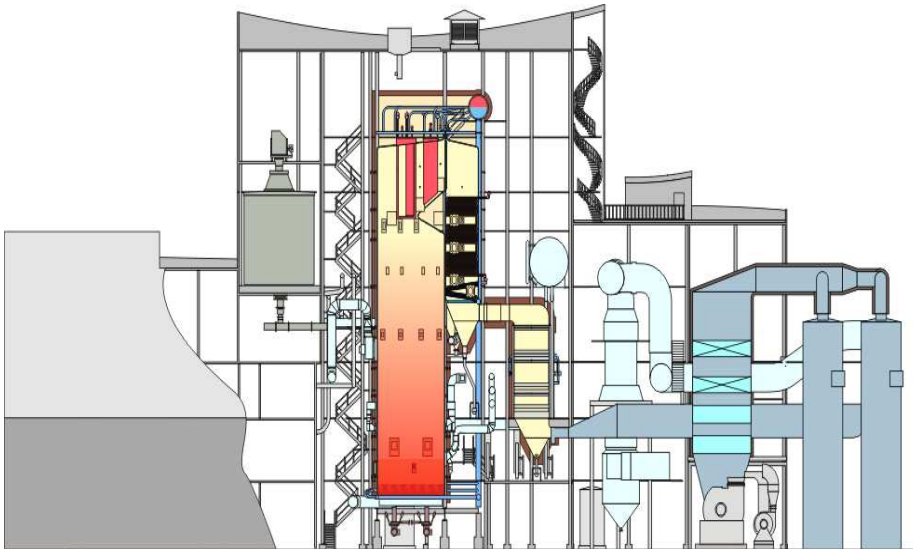
Tämä opinnäytetyö tehtiin Andritz Automationille, joka suunnittelee laitoksien automaatioita ja sähköistyksiä. Automation tarjoaa projektin johtamista, ohjelmisto ja laitteisto valvontaa sekä asennustyötä. Palvelun sisältöön kuuluu myös kunnossapito, käyttöpastus ja insinöörityö sekä ohjausjärjestelmien simuloinnit ja operoinnit. Toiminta alueina on palvelut eri teollisuuden aloille kuten massa- ja paperiteollisuus, kaivosteollisuus, kalkki ja sementti, sähkö, öljy ja kaasuteollisuus. Automation suunnittelee, toimittaa, asentaa ja huoltaa keski- sekä pienjännite sähköistykset että automaatiolaitteet ja -järjestelmät. (Andrizin www-sivut 2014, hakupäivä 24.02.2014)

2 KATTILALAITOS

Energiaa tuotetaan usein lämmön ja sähkön yhteistuotantona. Energiantuotantoyhtiöt tuottavat sähköä ja kaukolämpöä myyntitarkoituksiin. Teollisuudessa lämpöä ja sähköä tarvitaan prosessien toimintaan ja ne tuotetaan yleensä tehdaslaitoksien yhteydessä. Näissä prosesseissa syntyy lämpöä, jota pyritään hyödyntämään tehokkaasti. Tätä prosessissa syntynyttä sekundaarilämpöä hyödynnetään tehtaiden omien kiinteistöjen lämmitykseen ja yhdyskuntien kaukolämmön lähteenä. (VTT 2004, 76 - 77).

Tehtaiden lämmöntarve on usein niin suurta, että on ollut järkevää yhdistää siihen sähköenergian tuotantoa samaan. Näin teollisuudesta on tullut merkittävä sähköenergian tuottaja. Metsäteollisuudessa syntyy puuperäisiä polttokelpoisia sivutuotteita, mustalipeää, kuorintajätettä ja muuta puujätettä, kuten haketta. Lisäksi teollisuudessa syntyy erilaisia kaasuja, joita käytetään polttoaineina tehtaiden kattiloissa. (VTT 2004, 77)

Kuvion 1 teholuokan kattilaa käytetään opinnäytetyön mitoitusskennassa. Polttoaineena kattila käyttää biopolttoaineita ja kevytpolttoöljyä käynnistämiseen. Höyryn virtaus kattilalla on 127 t/h.



Kuvio 1. Kattilalaitoksen kuva (Andritzin biokattila)

3 VOIMALAITOSTEN SÄHKÖVERKKO

3.1 Voimalaitosten sisäinen sähköverkko jännite vaihtoehdot

Voimalaitoksien sisällä jännitteenjakelu tapahtuu keskijännite- ja pienjänniteverkkoa hyväksi käyttäen. Keskijännitteellä tarkoitetaan jännitettä, joka on suuruudeltaan 1-35kV. Suomessa yleisesti käytetään 20 kV jännitettä. Keskijänniteverkko on liitetty kantaverkkoon sähköaseman kautta. Suuret kiinteistöt sekä laitokset voivat liittyä suoraan sähköverkkoon keskijänniteverkosta. Pienjännitteellä tarkoitetaan 50V-1000V vaihtojännitettä. Tavalliselle kuluttajalle tuleva jännite on 400V/230V. Pääjännite on 400V ja vaihejännite 230V, minkä kuluttaja parhaiten tuntee Suomessa.

Moottorikäytössä käytetään Suomessa 10kV, 6kV, 3kV, 690V, 525V ja 400/230V. 10kV ja 6kV jännitteet ova käytössä yleisimmin keskijännitemoottoreissa. Pienjännitekeskuksissa käytetään nykyään 690V ja 400/230V. Valaistus ja kunnossapitoverkkoihin tarvitaan 400/230V. (Etto 1998, 3)

3.2 Voimalaitosten omakäyttösähkö

Sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annettu lain 7§:n 5 kohdan mukaan voimalaitoksen sähkön tai yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon omakäyttölaitteissa kulutettu omasähkö on valmisteverotonta ja huoltovarmuusmaksutonta. Omakäyttölaitteilla tarkoitetaan niitä laitteistoja koneistoja, jotka laitoksessa tarvitaan sähkön tai sähkön ja lämmön tuottamiseen ja tuotantovalmiuden ylläpitämiseen ja jotka tarvitaan laitoksen ympäristöhaittojen poistamiseen tai pienentämiseksi. (Tulli Energiaverotusohje 12.3.2013)

3.3 Liityntä sähköverkkoon

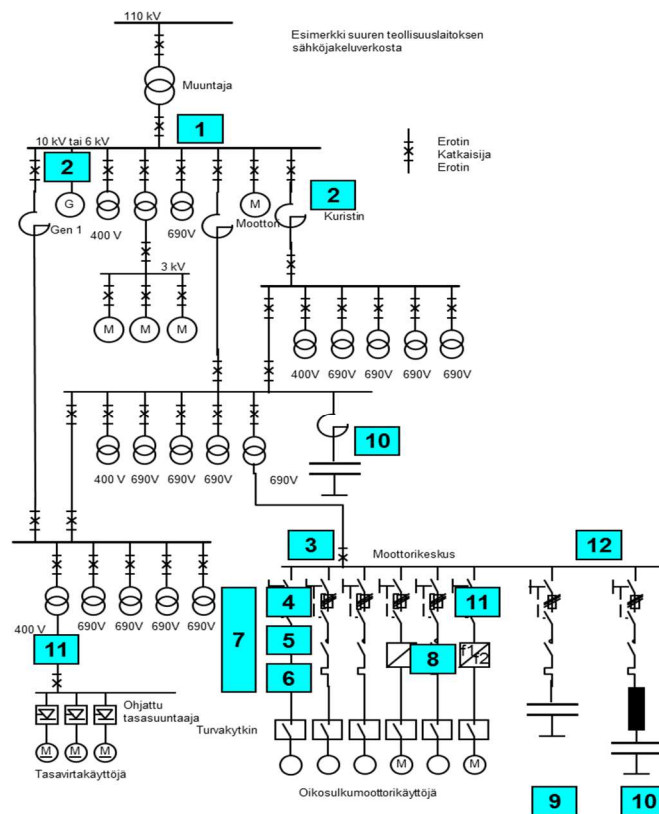
Tyypillisesti raskaan prosessiteollisuuden liityntä kantaverkkoon tapahtuu 110kV nimellisjännitteellä. 110kV jännitettä käytetään myös tehtaan sisäiseen sähkönjakeluun.

Pienemmät teollisuuslaitokset liittyvät sähköverkkoon 10kV tai 20kV jännitteellä. Jännitteen jakeluun laitoksissa käytetään 6kV, 10kV tai 20kV jännitteitä. Voimalaitoksien syöttö tulee yleensä kantaverkosta, jonka jännite on siihen liittyessä yleensä 110kV suurjännite. Voimalaitos liittää generaattorinsa usein keskijännite verkon kautta kantaverkkoon. (Etto, 1998, 3).

Suurjännitteellä tarkoitetaan jännitettä, joka on 110kV tai suurempi. Suurjännitettä käytetään kantaverkossa sähkönsiirrossa. Kantaverkkoon ovat liittyneet suuret voimalaitokset, alueelliset jakeluverkot ja tehtaat. Nämä muodostavat rungon sähkönsiirrolle. Suomessa kantaverkkoa hallinnoi Fingrid Oyj.

3.4 Sähköverkon rakenteet

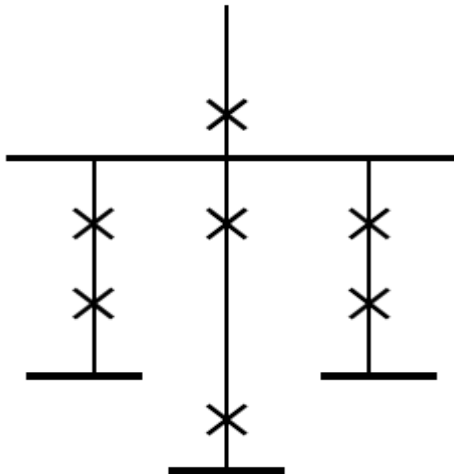
Teollisuusverkot ovat laajuudeltaan pieniä, mutta niissä siirretään suuria tehoja. Suurin osa tehoista käytetään sähkömoottorien pyörittämiseen. Prosessien sähkökäyttöjen tehot ja lukumäärät vaikuttavat merkittävästi sähköverkon (kuvio 2) jännitteisiin ja rakenteeseen. Lisäksi teollisuudessa tarvitaan valaistusta, lämmitystä ja automaatiota varten 400V jakelujännite. (Etto, 1998, 3).



Kuvio 2. Esimerkki teollisuuden sähköjakelusta. (Lyytikäinen, 24)

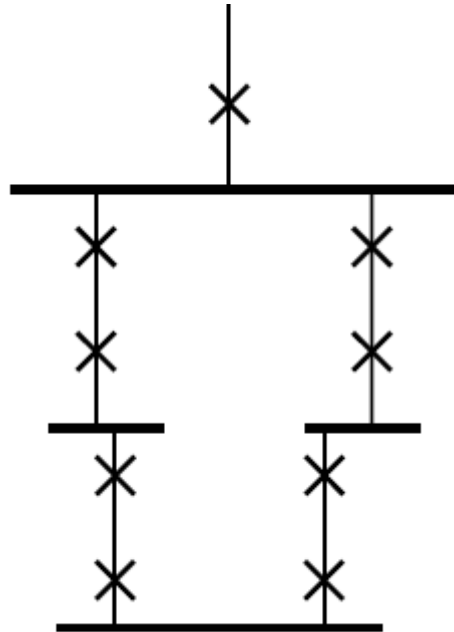
- 1 Keskijännitekojeisto
- 2 Oikosulkuvirran rajoitus keskijännitteellä
- 3 690 V:n kojeisto
- 4 Oikosulkusuojaus
- 5 Kontaktori
- 6 Ylikuormitussuojaus
- 7 Integroidut komponentit
- 8 Taajuusmuuttaja
- 9 Loistehon kompensointi
- 10 Yliaaltojen suodatus
- 11 Virtayliaallot
- 12 Jänniteylyliaallot.

Sähköverkoissa käytetään kolmea perusrakennetta: säteittäinen-, silmukka- ja rengasverkko. Säteittäisverkko (kuvio 3) on selkeärakenteinen, sen suojaaminen on helppoa, yksinkertainen mitoittaa ja helppokäyttöinen. Haittana on se, ettei varmistusmahdollisuuksia ole, joten katkoajat ovat pitkiä.



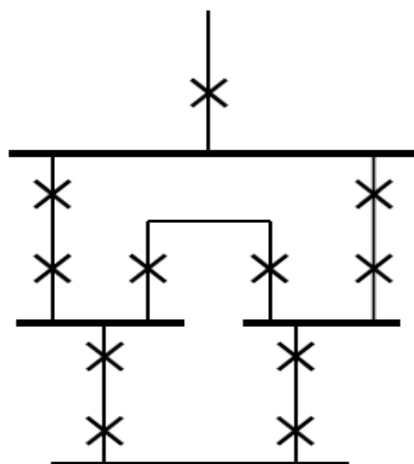
Kuvio 3. Säteittäisverkko

Rengasverkon (kuvio 4) edut säteittäisverkkoon verrattuna on varmempi jakelu, vaakaampi jännite ja pienemmät häviöt. Haittana on vaikeammin toteutettava suojaus ja monimutkaisempi käyttö sekä riskitekijöitä on enemmän.



Kuvio 4. Rengasverkko

Silmukkaverkon (kuvio 5) etuja on pienet tehohäviöt, jännitevakavuus ja käyttövarmuus. Haittoina siinä on monimutkainen relejärjestelmä ja käyttö.



Kuvio 5. Silmukkaverkko

Teollisuudessa jakeluverkot rakennetaan ja käytetään yleensä säteittäisenä. Tämä mahdollistaa yksinkertaisemman suojausjärjestelmän ja oikosulkutehot jäävät pienemmiksi. Huolto- ja varayhteyksien mahdollistaminen vaatii myös rengasmaisen sähköverkon rakenteita. Päämuuntajia on isoissa laitoksissa yleensä yksi tai useampia. Päämuuntajat syöttävät keskijänniteverkkoa (20...6kV). Generaattorit voi olla liitettyinä blokkimuuntajalla suoraan 110kV verkkoon, etteivät jakeluverkon oikosulkutehot kasvaisi liian suuriksi. (Etto 1998, 4)

Keskijännitejakeluverkko yhdistää teollisuuslaitoksen eri laitososat säteittäisellä kaapeliverkolla. Suuremmissa laitososissa on omat keskijännitekojeistonsa. Kojeistojen välinen kaapelointi on yleensä muutamia satoja metrejä ja ne on toteutettu kolmivaihekaapeleilla tai suurempien tehojen ollessa kyseessä, yksijohdin kaapelijärjestelmällä. Yleensä kaikki laitososan prosessien moottorikeskukset syötetään kyseisestä kojeistosta ja muuntajakoot on yleensä standardisoitu laitos- tai projektikohtaisesti esim. 2500kVA tai 3150kVA. Jakelujännitteen ollessa 20 kV on keskijännitemoottorit liitetty yleensä omaan 6kV kojeistoon, jota syötetään 20kV/6kV tehomuuntajalla. Moottoreiden lukumäärä vaihtelee kojeistossa. Kaapeloinnit suurjännitteellä vaihtelevat muutamasta kymmenestä metristä satoihin metreihin. Jakelujännitteen ollessa 10kV tai 6kV on moottorit ja jakelumuuntajat kytketty samaan kojeistoon. Tällöin saatetaan joutua rajoittamaan oikosulkutehoa kuristimella, varsinkin jos kojeistoon on liitetty generaattoreita. (Etto 1998, 4)

Jos suuria tehoja ei tarvita, käytetään pienjännitejakelussa moottoreille 690V sekä 400V. Valaistus- ja kunnossapitoverkon 400/230V syöttö tapahtuu eri muuntajilla kuin prosessin, koska valaistus ja osa prosessilaitoksessa olevista laitteista pitää pysyä käynnissä vaikka normaali sähköjakelu katkeaa. Sähkönjakelun ja automaation apusähköverkot toteutetaan yleensä tarpeen mukaan varmennettuna. (Etto 1998, 3)

3.5 Kiskosto ja kojeistoratkaisut

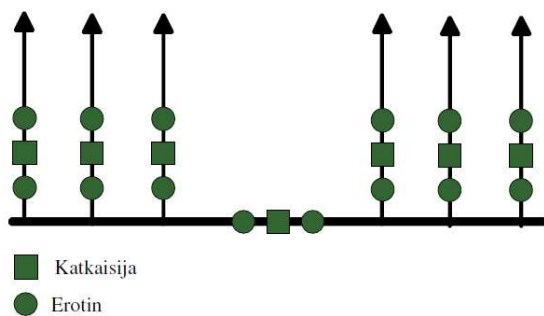
Kokoojakiskon tehtävänä on sähköenergian jakaminen kytkinlaitoksessa mahdollisimman tarkoituksenmukaisella tavalla. Kokoojakiskosta käytetään nimitystä pääkisko, kun siihen liitytään katkaisijalla ja apukisko kun siihen liittyminen tapahtuu pelkästään erotimella. (Elovaara & Laiho, 304)

Kiskojärjestelmien valinnassa on otettava huomioon seuraavia seikkoja:

- kytkinlaitokseen heti tai myöhemmin liitettävät johdot ja muuntajat
- mahdollisuus suorittaa laitoksessa normaaleja ja poikkeuksellisia kytkentöjä
- mahdollisuus suorittaa huolto- ja korjaustöitä
- kuormitusten ryhmittelymahdollisuus
- laitoksen luotettavuus ja käytettävyys
- yksinkertaisuus
- kiskovian haitallisuus
- rakeenteellinen tilantarve, toteutus ja kustannukset. (Elovaara & Laiho, 304)

Kiskostojärjestelmiä on useita erilaisia. Kiskotonta järjestelmää käytetään pääte- ja johdonvariasemilla, jossa on vain yksi muuntaja. Käyttöä ei voi tässä tapauksessa jakaa, eikä katkaisijaa ohi kytkeä. (Elovaara & Laiho, 304).

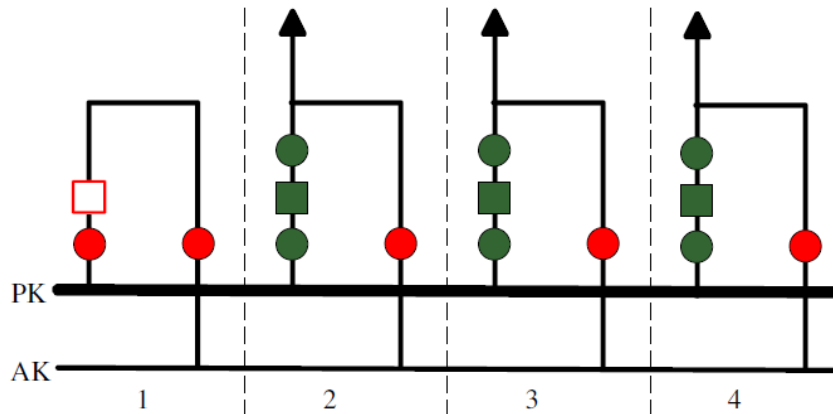
Yksikiskojärjestelmä (kuvio 6) käyttämällä saadaan yksinkertainen ja halpa järjestelmä. Kojeistovaurion sattuessa, se johtaa keskeytykseen, joka on sama aika kuin vaurion korjaamiseen käytetty aika. Kojeen huolto vaatii myös sähkön syötön keskeytyksen ja syötöiden ryhmittelyn muuttaminen on hankalaa jälkeenpäin. (Elovaara & Laiho, 305).



Kuvio 6. Yksikiskojärjestelmä (Martimo 2012, 54)

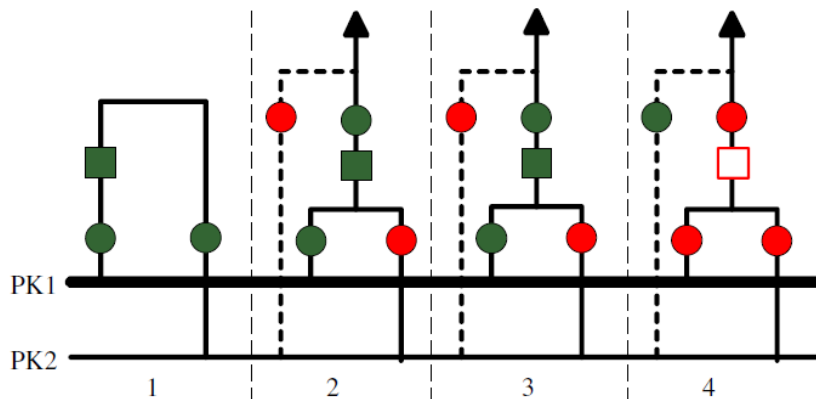
Kisko-apukiskojärjestelmä (kuvio 7) mahdollistaa vaurioituneen tai huollossa olevan kentän korvaamisen tilapäisesti kiskokatkaisija kentällä, ja on luotettavampi, kuin yksikisko järjestelmä. Vaurio johtaa vain kytkentätoimenpiteiden vaatiman ajan pituisiin

keskeytyksiin eikä huolto vaadi keskeytystä lainkaan. Mahdollistaa sähkönsyötön varsinaisen kentän ohi apukiskon kautta. Vika pääkiskossa aiheuttaa pitkän käyttökeskeytyksen, eikä käyttöä voi jatkaa. (Elovaara & Laiho, 304).



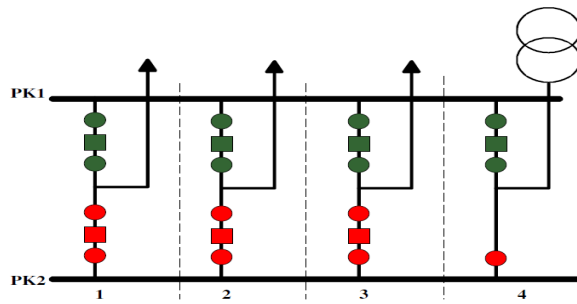
Kuvio 7. Kisko-apukiskojärjestelmä (Martimo 2012, 56)

Kaksikiskojärjestelmä (kuvio 8) on tyypillinen teollisuuslaitoksien käyttö. Soveltuu erityisesti asemille, joilla lähtöjen ryhmittely on tarpeen ja ryhmittelyä on voitava muuttaa. Toinen kisko voidaan ottaa jännitteettömäksi käytön aikana. Jos käyttökeskeytyksen pitää olla lyhyt tai jos katkaisija huoltoa ei voi tehdä keskeytystyönä, käytetään ohikykentä erottimia, joilla voidaan vaurioitunut tai huollettava katkaisija ohittaa. Järjestelmällä voidaan suorittaa lukuisia erikoistehtäviä käyttötapauksesta ja asetetuista tavoitteista riippuen. (Elovaara & Laiho, 307).



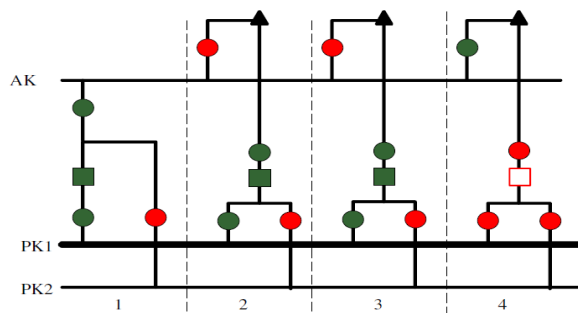
Kuvio 8. Kaksoiskiskojärjestelmä (Martimo 2012, 56)

Kaksikatkaisijajärjestelmässä (kuvio 9) lähdöt on kytketty kahteen kiskostoon erillisten katkaisijoiden kautta. Ratkaisu on luotettavampi kuin kaksikisko- tai kaksikisko-apukiskojärjestelmä, mutta samalla kalliimpi. (Elovaara & Laiho, 307).



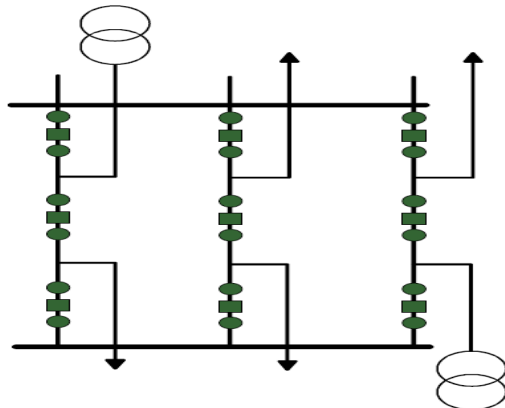
Kuvio 9. Kaksi katkaisija järjestelmä (Martimo 2012, 57)

Kaksikisko-apukiskojärjestelmä (kuva 10) voidaan osittaa ja siinä voi yhtä aikaa olla kaksi kiskoa jännitteettömänä. Katkaisijan ja kojeiston ohitus on mahdollista. Kahden lähdön syöttö on mahdollista yhdellä katkaisijalla. Käytetään vaativien kohteiden yleisratkaisuna ja se on kallis ratkaisu kojeiden määrän takia. (Elovaara & Laiho, 307).



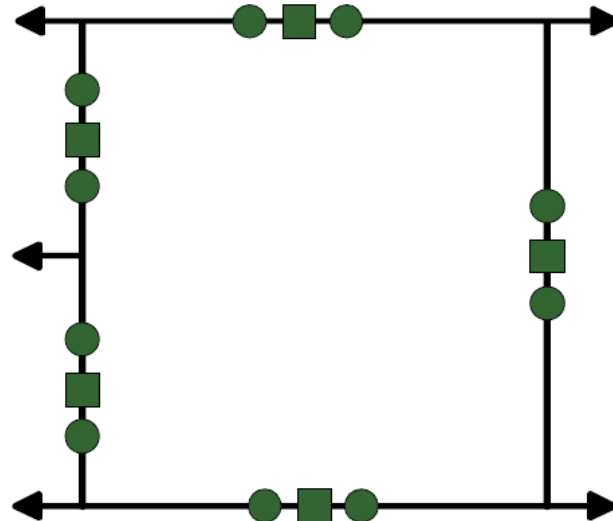
Kuvio 10. Kaksikisko-apukiskojärjestelmä (Martimo 2012, 57)

11/2-katkaisijajärjestelmä (kuva 11) on käyttövarma, mutta siinä on monimutkainen toteuttaa suojaus. Käytetään yleensä suurjännitteellä avokytkinlaitoksissa. (Elovaara & Laiho, 308).



Kuvio 11. 1 1/2 katkaisija järjestelmä (Martimo 2012, 59)

Rengaskiskojärjestelmä (kuvio 12) on erittäin käyttövarma. Suojaus ja jälleen kytkentä monimutkaista. Käytetään ainoastaan suurjänniteavokytkinlaitoksissa. Jokaisella lähdöllä on kaksi täydellistä kytkentätietä, joten yhdelle katkaisijalle voidaan suorittaa huoltotoimenpiteitä käytön häiriintymättä. (Elovaara & Laiho, 308).



Kuvio 12. Rengaskiskojärjestelmä. (Martimo 2012, 58)

Tässä opinnäyte työssä on tarkoitus vertailla yksi- ja kaksikiskojärjestelmiä. Kaksikiskojärjestelmästä saatua hyötyä sekä mikä on hintaero yksikiskojärjestelmään verrattuna. Opinnäytetyössä selvitettiin sitä missä tilanteessa kalliimpi ja varmempi ratkaisu tulee ajan myötä halvemmaksi.

3.6 Varavoima ja varmennetut järjestelmät

Varmennettuina järjestelminä on diesel varmennettu verkko ja akkuvarmennettu tasasähköjärjestelmä. Diesel varmennettuun järjestelmään liitetään yleensä varavalaistus, paristojen varaajat, hissit, palopumput, prosessin kannalta kriittiset moottorikäyttöiset toimilaitteet tai muita prosessin vaatimia laitteita.

Paristovarmennetun jakelun piiriin kuuluu yleensä kytkinlaitoksen ohjaukset, suojareleet sekä automaatio- ja instrumenttijärjestelmät. Paristovarmennettu vaihtosähköjake luun(UPS) liitetään erilaisia laitteistoja kuten kenttäinstrumentointi, valvomoiden monitorit, kirjoittimet, tietokoneet, laskimet, analysaattorit, suojaukset ja ohjaukset. (Etto 1998, 4).

3.7 Automaatio ja ohjaus

Automaattisten ohjausjärjestelmien avulla pyritään yleensä parantamaan tuotannon tehokkuutta ja toimintavarmuutta sekä tuotteiden keskimääräistä laatua. Sillä myös eliminoidaan yksitoikkoisia ja työturvallisuuden osalta vaarallisiakin työvaiheita siten, että ne voidaan tuottaa koneellisesti ihmisen toimiessa koneen tai laitteen koneen valvojana. Automaatiojärjestelmä voi olla yksittäinen ohjelmoitava logiikkalaite tai vaikka koko tehtaan toiminnan ohjaamiseen tarkoitettu järjestelmä. (Asp, Risto & Timo, Tuominen & Heikki, Hyppönen)

Kokonaisen tehtaan tuotannollista toimintaa ohjaavan automaatiojärjestelmän keskusyksikkönä toimii valvomoasema, joka rakentuu teollisuusstandardin mukaisesta PC-laitteistosta ja laitteistoon liitetyistä erillisistä I/O-yksiköistä. Valvomoaseman I/O-yksiköihin on kytketty tehtaalte menevät ohjausväylät, jotka voivat olla rakenteeltaan joko kuparikaapeliperustaisia parikaapeliväyliä tai joissakin tapauksissa myös valokuituyhteyksiä. Tehtaalte menevät ohjausväylät, joista käytetään myös nimitystä kenttäväylä, liittävät kentällä olevat ohjausyksiköt sekä yksittäiset toimilaitteet ja anturit valvomotietokoneisiin. (Asp, Risto & Timo, Tuominen & Heikki, Hyppönen)

Kenttäväyläjärjestelmän hierarkkinen jako: Alimmalla eli kenttälaitetasolla ovat yksittäiset ohjausyksiköt, lähettimet, anturit ja mittalaitteet sekä prosessia ohjaavat toimilaitteet. Seuraavalla tasolla ovat ohjainyksiköiden, säätimien ja toimilaitteiden ohjauksia kontrolloivat logiikkayksiköt. Ylimmälle tasolle sijoittuvat valvomotietokoneet, erilliset ohjauspäätteet ja hälytyskirjoittimet. Ylimmältä tasolta voidaan liittyä myös lähiverkoon ja mahdollisesti Internetiin. (Asp, Risto & Timo, Tuominen & Heikki, Hyppönen)

4 MITOITUS JA VALINNAT

4.1 Nimellisvirrat ja jännitteet

Nimellisjännite on käyttöjännite, 3-vaihe järjestelmässä pääjännite. Nimellisjännitteitä on maailmalla käytössä paljon. Nimellisjännitteet löytyy IEC standartista. Käytettävät nimellisjännitteet vaikuttavat kaikkien komponenttien mitoituksiin. Tässä opinnäytetyössä on 110kV liityntäjännitteenä. Keskijännitteinä on tarkastelussa huomioitu 20kV, 10kV, 6kV, 3kV ja pien jännitteinä 690V, 500V ja 400/230V. Nämä jännitteet ovat yleisesti Suomessa käytössä, mutta 500V järjestelmiä ei rakenneta enää uusia.

Nimellisvirta on laitteistolle/laitteelle suurin sallittu virta. Nimellisvirrat riippuvat käytettävistä jännitteistä. Tässä opinnäytetyön tarkasteluissa ne ovat suuruusluokkaa 3000A pienjännite kiskosten osalta.

4.2 Vikavirrat ja suojaus

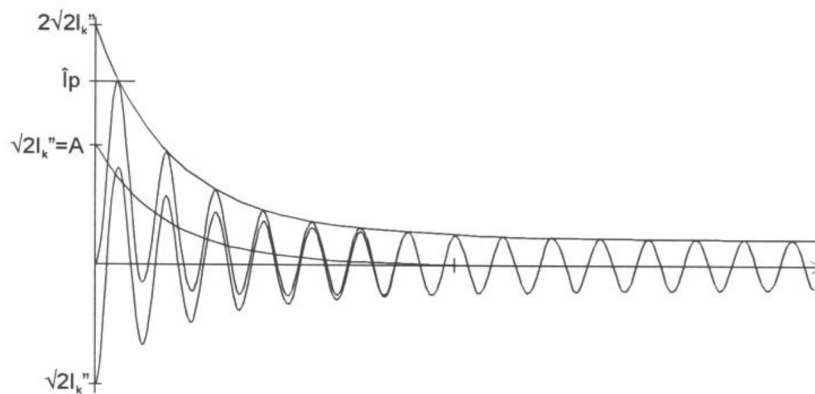
Oikosulkuteho vaikuttaa laitteiden mitoitukseen ja sitä kautta hintaan. Oikosulkuvirran hallinnalla on keskeinen merkitys teollisuuden sähköjakeluverkoissa, joissa etäisyydet on pienet ja oikosulkuvirrat kaikkialla suuria. Teollisuusverkkoihin yleensä liittyy suuria muuntajia, omia generaattoreita ja paljon pyöriviä sähkömoottoreita, minkä takia oikosulkuvirrat pyrkivät kasvamaan suuriksi. Turvallisen toiminnan ja vaurioiden välttämiseksi tulisi oikosulkuvirtojen olla mahdollisimman pieniä. (Huotari & Partanen, 1)

Oikosulkusuojauksen ja turvallisen käytönsuunnittelussa on tunnettava oikosulkuvirrat erilaisissa käyttötilanteissa ja eri osissa verkkoa. Verkon komponenttien on kestävä oikosulunaikaiset dynaamiset ja termiset rasitukset. Teollisuuden oikosulkuvirtoja laskettaessa on oleellista ottaa huomioon se, että suoraan verkkoon kytketty sähkömoottorikäyttö toimii vikatilanteessa energian lähteenä, se osallistuu suurimman oikosulkuvirran tuottamiseen. (Hietalahti, teollisuuden sähkökäytöt, 225).

Oikosulun aiheuttajana saattaa olla eristyksen vanheneminen, mekaaninen haurastuminen, korjaus- ja huoltotoimenpiteiden yhteydessä asetettujen maadoitusten unohtuminen

paikalleen, ylijännitteen aiheuttama valokaari, mekaaninen vaurio, virheelliset käyttötoimenpiteet ja ilkivalta. (Huotari & Partanen, 1).

Oikosulkuvirrassa on vaimeneva tasavirtakomponentti, jonka suuruus riippuu oikosulun syntymishetkestä ja vaimenemisnopeus piirin R/X suhteesta. Oikosulkuvirrassa on myös vaihtovirta komponentti, jossa voi olla myös vaimeneva osa. Oikosulun tapahtuessa lähellä generaattoriyksiköitä, vaihtovirtakomponentissa on tyypillisesti vaimeneva osa. (Hietalahti, 225)



Kuvio 13. Verkkovirran käyttäytyminen oikosulkutilanteessa. (Hietalahti, 226)

missä I_k'' on symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo vian alkuhetkellä
 I_k on symmetrisen oikosulkuvirran jatkuvuusarvo
 I_p on oikosulkuvirran hetkellisarvo, kun otetaan huomioon myös tasavirtakomponentti.

4.2.1 Oikosulkuvirtojen laskeminen Theveninin menetelmällä

Theveninin menetelmä soveltuu hyvin teollisuusverkkojen oikosulkujen määrittämiseen, koska teollisuussähköverkkojen oikosulkutapauksissa muodostuu vikapaikassa kulkeva virta useiden eri oikosulkulähteiden summana. Tällöin voidaan Thevenin teoreeman nojalla kaikki oikosulkulähteiden sähkömotoriset voimat korvata yhdellä ainoalla sähkömotorisella voimalla, joka sijoitetaan vikapaikkaan. (Huotari & Partanen, 8)

Oikosulkuiмпedansseilla ja vikapaikkaan sijoitettavalla ns. ekvalenttisella jännitelähteellä $c \cdot U_n$, jossa U_n on vikapaikan käyttöjännite vikahetkellä ja c on taulukon 1 mukainen kerroin. (Hietalahti, 226).

Oikosulkuvirta saadaan kaavasta.

$$I_k'' = \frac{c U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (1)$$

missä U_n on verkon jännite
 Z_k on vikapaikan impedanssi
 c on jännitekerroin.

Maksimi oikosulkuvirtaa laskettaessa valitaan verkon kytkentätilanne vastaamaan maksimioikosulkuvirtaa ja jännitekertoimeksi kyseisen jänniteportaan maksimia vastaava (taulukko 1) c arvo. (Hietalahti, 227).

Minimioikosulkuvirtaa laskettaessa laitetaan kytkentätilanne vastaamaan minimiä ja jännitekerroin (taulukko 1) minimioikosulkuvirtaa vastaavaksi. Minimioikosulkuvirtaa laskettaessa oletetaan moottorit seisoviksi ja johtimille käytetään suurinta käyttölämpötilaa vastaavaa resistanssia. (Hietalahti, 227).

Taulukko 1. IEC-60909-Standardin mukaiset jännitekertoimet(ABB TTT 2000, 198)

Nimellisjännite U_n	Maksimioikosulkuvirta c_{max}	Minimioikosulkuvirta c_{min}
pienjännite 100 V – 1000 V a) 230 V / 400 V b) muut jännitteet	1.00 1.05	0.95 1.00
keskijännite 1 kV - 35 kV	1.10	1.00
suurjännite 35 kV - 230 kV	1.10	1.00

Yksi- ja kaksivaiheisissa vioissa sijaiskytkentä muodostetaan myötä-, vasta- ja nolla-komponenteista. Johdoilla, muuntajilla ja kuristimilla myötä- ja vastakomponentit on yhtä suuria, pyörivillä koneilla ne voivat erota toisistaan. Nollaimpedanssit eroavat myötäimpedansseista kaikilla komponenteilla. (Hietalahti, 227)

Kolmi-, kaksi- ja yksivaiheiset oikosulkuvirrat voidaan laskea kaavoilla.

$$I_{k3}'' = \frac{cU_n}{\sqrt{3}Z_1} \quad (2)$$

$$I_{k2}'' = \frac{cU_n}{Z_1 + Z_2} \quad (3)$$

$$I_{k2}'' = \frac{cU_n}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (4)$$

missä c on taulukon 1 mukainen jännitekerroin.

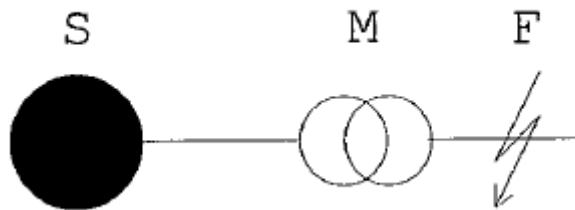
U_n on vikapaikan nimellispääjännite.

Z_1 on oikosulkupiirin myötäimpedanssi.

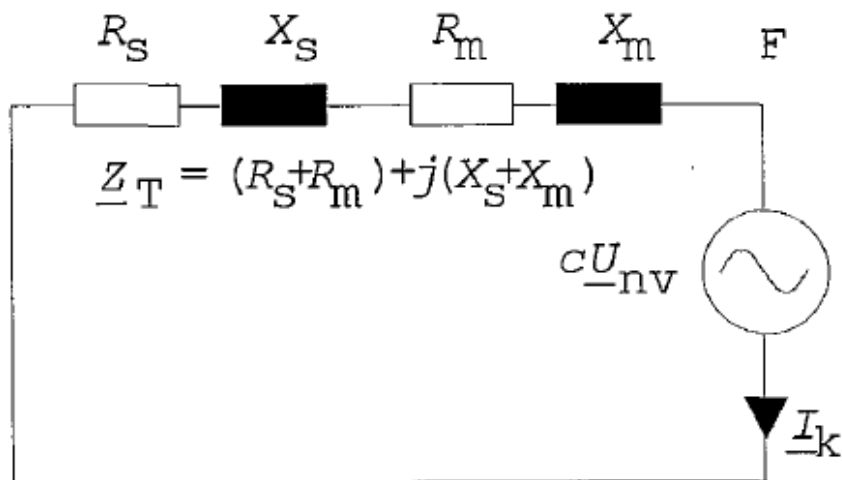
Z_2 on oikosulkupiirin vastaimpedanssi.

Z_0 on oikosulkupiirin nollaimpedanssi.

Alla olevista kuvista (kuvat 14 ja 15) nähdään yksinkertainen verkkomalli ja siitä muodostettu Theveninin sijaiskytkentä.



Kuvio 14. Yksinkertainen verkkomalli. (Huotari & Partanen, 8)



Kuvio 15. Theveninin sijaiskytkentä malli. (Huotari & Partanen, 8)

Kuvioissa 14 ja 15 piirin komponentit on.

F	on piste missä oikosulku tapahtuu
S	syöttävä verkko
R_s	syöttävän verkon oikosulkuresistanssi
X_s	syöttävän verkon oikosulkureaktanssi
M	muuntaja
R_m	muuntajan oikosulkuresistanssi
X_m	muuntajan verkon oikosulkuresistanssi
Z_t	on edellisistä muodostettu theveninin impedanssi.

4.2.2 Erilaisten vikatapausten vertailu

Yleensä ei ole tarpeen laskea kaikkien vikatapausten oikosulkuvirtoja. Verkon ja kyt-kinlaitteiden tarkistamiseksi riittää, kun tunnetaan suurimmat verkossa esiintyvät oikosulkuvirrat. Myös verkon pienimmät oikosulkuvirrat pitää tietää, jotta varmistetaan oikosulkusuojauksen toiminta. (Huotari & Partanen, 10)

Teollisuussähköverkot ovat yleensä käyttövarmuussyistä maasta erotettuja. Tällöin oikosulkuvirrat rajoittuvat kaksi- ja kolmivaiheiseen oikosulkuvirtaan. Kaksivaiheinen oikosulkuvirta voidaan esittää kolmivaiheisen oikosulkuvirran avulla. (Huotari & Partanen, 8)

Kaksivaiheisen oikosulkuvirran kaava, joka on esitettynä kolmivaiheisen oikosulkuvirran avulla kaavassa 5. Kaukana generaattorista $Z_1 \sim Z_2$ niin kaksivaiheinen oikosulku voidaan laskea kaavasta 6.

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{1 + \frac{Z_2}{Z_1}} I_{k3}'' \quad (5)$$

$$I_{k2}'' = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{k3}'' \approx 0,87 I_{k3}'' \quad (6)$$

4.2.3 Oikosulkupiirin komponentit

Verkkosyötölle oikosulkuimpedanssi saadaan oikosulkutehosta tai –virrasta yhtälöstä.

$$Z_k'' = \frac{cU_n^2}{\sqrt{3} \cdot S_k''} = \frac{cU_n}{\sqrt{3} \cdot I_k''} \quad (7)$$

missä	c	taulukon mukainen jännitekerroin kerroin
	Z_k	oikosulkuimpedanssi
	U_n	syöttävän verkon nimellisjännite
	S_k''	alkuoikosulkuteho
	I_k''	alkuoikosulkuvirta.

Kaksikäsimuuntajalle impedanssi saadaan laskettua kilpiarvoista yhtälöiden avulla:

$$Z_k = \frac{u_k}{100\%} \frac{U_n^2}{S_n} \quad (8)$$

$$R_k = \frac{u_r}{100\%} \frac{U_T^2}{S_T} \quad (9)$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \quad (10)$$

missä	Z_k	muuntajan oikosulkuimpedanssi
	R_k	muuntajan oikosulkuresistanssi
	X_k	muuntajan oikosulku reaktanssi
	U_n	muuntajan nimellispääjännite
	S_n	muuntajan nimellinäennäisteho
	u_r	muuntajan resistanssin aiheuttama oikosulkujännite prosentteina
	u_k	muuntajan oikosulkujännite prosentteina

Suurilla muuntajilla oikosulkuimpedanssi voidaan korvata oikosulkureaktanssilla, koska resistanssin osuus on impedanssissa niin pieni. Resistanssi on otettava huomioon sy-
säsoikosulkuvirtaa i_s laskettaessa. Kuristinta käsitellään laskelmissa kuten muuntajaa, jonka muuntosuhde on yksi. (Huotari & Partanen, 18)

Tahtikoneen reaktanssi voidaan laskea yhtälöstä:

$$X_G = \frac{x}{100} \frac{U_G^2}{S_G} \quad (11)$$

missä	x	suhteellinen reaktanssi
	X_G	tahtigeneraattori reaktanssi
	U_G	nimellisjännite
	S_G	tahtigeneraattorin nimellisteho.

Kaapeleiden vaikutus teollisuuden keskijänniteverkossa oikosulkuimpedanssiin on vähäinen, koska kaapeli pituudet on lyhyitä. Tarvittaessa kaapeleiden resistanssi- ja reaktanssiarvot saadaan valmistajien luetteloista. Arvot on esitetty yleensä pituusyksikköä kohti, jolloin kaapelin impedanssi saadaan kaavasta (12). (Huotari & Partanen, 20)

$$Z_j = (r + jx)l \quad (12)$$

missä	Z_j	Johtimen impedanssi
	r	kaapelin resistanssi pituusyksikköä kohti
	x	kaapelin reaktanssi pituusyksikköä kohti
	l	kaapeliyhteyden pituus

Lämpötilan ja virran ahdon vaikutus voidaan myös tarvittaessa ottaa huomioon yhtälön (13) avulla.

$$R = (1 + \alpha_{20}(t - 20^\circ\text{C}))(R_{20} + \Delta R) \quad (13)$$

missä	α_{20}	resistanssin lämpötilakerroin
	t	lämpötila, jossa resistanssi halutaan laskea
	R_{20}	tasavirtaresistanssi $+20^\circ\text{C}$:ssa
	ΔR	lisäresistanssi, joka ottaa huomioon virran ahdon aiheuttamat lisähäviöt.

Oikosulkumoottori on yleisin kone teollisuuslaitoksien käytössä olevista sähkökoneista. Käytettävien moottorien yksikkökoot eivät välttämättä ole kovin suuria, mutta suuren lukumääränsä takia ne on otettava huomioon laskelmia tehdessä. Oikosulkumoottorit vaikuttaa suurentavasti oikosulkuvirtaan symmetrisissä vioissa alkuoikosulku-, sy-
säsoikosulku- ja katkaisuvirtaan sekä epäsymmetrisissä vioissa pysyvän tilan oikosul-
kuvirtaan. (Huotari & Partanen, 19)

Keskijännitemoottorit otetaan aina yleensä huomioon ja ne mallinnetaan erikseen. Pien-
jännitemoottoreita ei kannata suuren lukumääränsä vuoksi mallintaa yksitellen vaan
niistä tehdään muuntaja kohtaisesti ekvalenttimoottorit. (Huotari & Partanen, 19)

Oikosulkumoottorit, joita ohjataan nopeussäätölaitteilla kuten taajuusmuuttajilla, eivät
lisää oikosulkuvirtaa vaan ohjainlaite kuluttaa generaattoritehon häviönä. Jos samanai-
kaisesti käyvien moottoreiden teho on alle 25% syöttävien muuntajien kokonaistehosta,
ei niitä tarvitse myöskään huomioida. Jos teho on yli 25% käytetään kaavan (12) nimel-
listehon arvona moottoriryhmän summatehoa ja käynnistysvirran arvona 5. (Hietalahti,
228)

Oikosulkumoottorin oikosulkuvirta lasketaan kaavasta:

$$Z_m = \frac{1}{\frac{I_s}{I_n}} \frac{U_n^2}{S_n} \quad (14)$$

jossa	Z_m	Moottorin oikosulkuimpedanssi
	U_n	Moottorin nimellispääjännite
	I_n	Moottorin nimellisvirta
	I_s	Moottorin käynnistysvirta
	S_n	Moottorin nimellisnäennäisteho

Oikosulkuimpedanssi voidaan jakaa oikosulkuresistanssiksi ja –reaktanssiksi taulukon 2
avulla.

Taulukko 2. Epätahtimoottoreiden R/X suhdetaulukko. (Huotari & Partanen, 19)

U_n/kV	$P_n/p/MW$	R_m/X_m	X_m/Z_m
≥ 1	≥ 1	0,10	0,995
≥ 1	< 1	0,15	0,989
< 1	kaikki	0,42	0,922

Dynaaminen kestopvirta (kaava 15) eli sysäysvirta I_s kuvaa laitteistojen mitoitusta oikosulun voimavaikutuksien kannalta. Ilmiötä mallinnetaan ja virran suuruus lasketaan sysäyskertomella, jonka suuruus riippuu verkon R/X suhteesta. Pienjänniteverkossa käytetään kuitenkin maksimissaan κ arvona 1,80 ja keskijänniteverkossa 2. (Hietalahti, 228).

$$i_{dyn} = \kappa \sqrt{2} I_k'' \quad (15)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R/X} \quad (16)$$

Terminen kestopvirta on oikosulkuvirran kestoisuus lämpenemän kannalta, joka ilmoitetaan 1s tai 3s arvona. Ekvivalenttisen oikosulkuvirran laskenta tehdään seuraavasti:

$$i_{1s} = I_k'' \sqrt{\frac{t}{s}} \quad (17)$$

jossa	I_k''	Symmetrisen oikosulkuvirran tehollisarvo vian alkuhetkellä
	t	Vian kesto aika
	s	Nimellinen oikosulkuvirran kesto aika (yleensä 1s aika)

4.2.4 Ominaisoikosulkuteho

Ominaisoikosulkutehojen avulla voidaan nopeasti ja helposti määritellä oikosulkuvirtoja. Oikosulkuteho on käsite, jossa täysi oikosulkuvirta ja jännite vaikuttavat samanaikaisesti. Ominaisoikosulkuteho on se oikosulkuteho, joka esiintyisi komponentin jälkeen, elleivät muut virtapiirin osat rajoittaisi sitä. Yleensä lasketaan alkuoikosulkuvirta I_k'' ja laskennassa huomioidaan vain reaktanssit. Tästä seuraa se, että sysäyskerrointa ei saada tarkasti. Sen arvo voidaan arvioida tärkeimpien komponenttien R/X suhteista. (ABB TTT-käsikirja 2000, 205)

Muuntajan ja generaattorin oikosulkutehot saadaan yhtälöistä (18 ja 19):

$$S_{kp} = \frac{U_n^2}{Z_k} \quad (18)$$

$$S_{kp} = \frac{S_n}{Z_k} \sim \frac{S_n}{Z_d} \quad (19)$$

jossa S_{kp} = ominaisoikosulkuteho
 U_n = laskettavankomponentin nimellispääjännite
 Z_k = laskettavan komponentin oikosulkuimpedanssi
 S_n = laskettavan komponentin nimellisteho
 z_k = Oikosulkuimpedanssin suhteellinen arvo
 z_k = generaattorilla tahtireaktanssin Z_d suhteellinen lukuarvo

Rinnan kytkettyjen ominaisoikosulkutehojen kokonaisoikosulkuteho saadaan komponenttien ominaisoikosulkuteho yhtälöstä:

$$S_k = S_{k1} + S_{k2} + S_{k3} + \dots + S_{kn} \quad (20)$$

Sarjaan kytkettyjen ominaisoikosulkutehojen kokonaisoikosulkuteho saadaan komponenttien ominaisoikosulkuteho yhtälöstä:

$$\frac{1}{S_k} = \frac{1}{S_{k1}} + \frac{1}{S_{k2}} + \frac{1}{S_{k3}} + \dots + \frac{1}{S_{kn}} \quad (21)$$

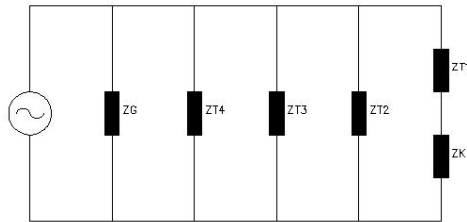
Oikosulkuvirta saadaan ominaisoikosulkuteho yhtälöstä:

$$I_k = \frac{c \cdot S_k}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (22)$$

Laskelmat oikosulkuvirroille tehdään kuvion 16 mallin mukaan, jotta nähdään jännite valintojen vaikutus oikosulkuvirtoihin sekä niiden vaikutus kojeistojen valintaan. Tekniset ominaisuudet, jotka vaikuttavat kojeistojen suunnitteluun, sitä kautta taloudellisuuteen. Päämuuntajan jännite on 110 kV ja teho 40MVA.

Kuvio 16. Esimerkki kattilan sähköverkon malli. (Andriz)

Muodostetaan edellisestä kattilan verkosta Thevenin kytkentä, jossa vika sijaitsee generaattorin navoissa.



Kuvio 17. Thevenin sijaiskytkentämalli

4.4 Häviöt

Häviöitä syntyy esimerkiksi moottoreissa, taajuusmuuttajissa, kaapeleissa ja muuntajissa. Häviöinä esiintyy tyhjäkäynti- ja kuormitushäviötä.

4.4.1 Kaapelihäviöt

Kaapelissa syntyy tehohäviöitä, kun siinä siirretään tehoa. Häviöt syntyvät kaapelin eri osissa ja aiheuttavat kaapelin lämpötilan nousun. Kaapelin käytönaikaiset tehohäviöt ovat resistiivisiä häviöitä. Suurin osa häviöistä syntyy kaapelin johtimissa. Käytettäessä kolmivaihe kaapeleita saadaan häviöteho laskettua kaavasta. (Hytönen, 32)

$$P_h = 3RI^2 \quad (23)$$

missä	P_h	kaapelin häviöteho
	R	johtimen resistanssi
	I	johtimen virran tehollisarvo

4.4.2 Muuntajahäviöt

Muuntajan häviöt voidaan jakaa kahteen osaan: Tyhjäkäynti ja kuormitushäviöihin. Tyhjäkäyntihäviöitä syntyy aina kun muuntaja on kytkettynä sähköverkkoon. Tyhjä-

käynti häviöt eivät riipu kuormituksesta. Tyhjäkäyntihäviöitä syntyy muuntajan käämityksestä. Kuormitushäviöt määräytyvät muuntajan kuormituksen mukaan. (Hytönen, 34)

Tyhjäkäyntihäviöt voidaan laskea kaavasta:

$$P_0 = \left(\frac{U_1}{U_n} \right)^2 P_{0n} \quad (24)$$

missä	P_0	muuntajan tyhjäkäyntihäviöt
	P_{0n}	muuntajan nimelliset tyhjäkäyntihäviöt
	U_1	Muuntajan ensiöjännite
	U_n	muuntajan nimellisjännite

Kuormitushäviöt saadaan laskettua kaavasta:

$$P_k = \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 P_{kn} \quad (25)$$

missä	P_k	muuntajan kuormitushäviöt
	P_{kn}	muuntajan nimelliset kuormitushäviöt
	S	kuormitusteho
	S_n	muuntajan nimellisteho

4.4.3 Moottorin häviöt

Oikosulkumoottorissa häviöt jakaantuvat kuormitushäviöihin (staattorin kuparihäviöt, roottorihäviöt ja lisähäviöt) sekä tyhjäkäyntihäviöihin, (staattorin rautahäviöt, tuuletus-, kitka- ja laakerihäviöihin), joiden perusteella saadaan moottorin hyötysuhde. Oikosulkumoottoreiden hyötysuhteet vaihtelevat paljonkin eri moottoreiden välillä.

(<http://www.abb.com.co/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx> 18.3.2013).

Oikosulkumoottorin häviöt saadaan laskettua kaavasta.

$$P_{mh} = (1 - \eta) P_{mo} \quad (26)$$

missä	P_{mh}	moottorihäviöt
	P_{mo}	moottorin nimelliskuorma
	η	moottorin hyötysuhde nimelliskuormalla

4.4.4 Taajuusmuuttajahäviöt

Taajuusmuuttajissa häviöitä syntyy vaihto- ja tasasuuntaussillassa sekä välipiirissä. ACS-800 taajuusmuuttajilla hyötysuhde on 97%.

$$P_{th} = (1 - \eta) P_{mo} \quad (27)$$

missä	P_{th}	taajuusmuuttajan häviöt
	P_{kuorma}	taajuusmuuttajan nimelliskuorma
	η_t	taajuusmuuttajan hyötysuhde nimelliskuormalla

4.5 Häviö ja investointikustannukset

Investointi kustannukset ovat kertaluontoisia ja syntyvät kun laitos tai verkko rakennetaan. Laitosta tai verkkoa käytettäessä syntyy erilaisia kustannuksia, kuten häviöitä, keskeytyskustannuksia ja ylläpitokustannuksia. Häviö kustannukset ovat koko käyttöjaksolle tulevia kustannuksia, joita käsitellään vuosittaiskustannuksina. Verkostossa syntyy tehohäviöitä erilaisissa laitteissa kuten muuntajat, moottorit, kaapelit ja taajuusmuuttajat. Tyhjäkäyntihäviöt ovat aina vakiot ja kuormitushäviöt muuttuu kuormituksen muuttuessa. (Lakervi & Partanen 2008, 40).

Kun vertaillaan taloudellisesti eri kustannuslajeja, kuten investointikustannuksia ja häviökustannuksia, on ne pystyttävä muuttamaan vertailukelpoisiksi toisiinsa nähden.

Kiinteiden ja jaksollisten kustannusten vertailua voidaan tehdä joko jakamalla kiinteät kulut tasaeriksi (annuiteetti menetelmä) tai laskemalla jaksollisten kustannusten kokonaisarvo tarkastelujaksolla (nykyarvomenetelmä). Annuiteetin avulla lasketaan kertaluonteisia, mutta pitkällä aikavälillä vaikuttavia kustannuksia, kuten esimerkiksi investointikustannus. (Lakervi & Partanen 2008, 40).

Annuiteetin ε laskenta kaava on:

$$\varepsilon = \frac{\frac{p}{100}}{1 - \frac{1}{(1 + \frac{p}{100})^t}} \quad (32)$$

missä p korko
 t investoinnin tarkastelu aika vuosina

Nykyarvo lasketaan seuraavasti:

$$NA = K_{inv} + \kappa K_{häv} \quad (33)$$

missä NA nykyarvo
 K_{inv} investointikustannukset
 $K_{häv}$ ensimmäisen vuoden häviökustannus
 κ kapitalisointikerroin

Kapitalisointikertoimella saadaan tarkastelu aikana syntyneiden häviöiden nykyarvo, kun tiedetään ensimmäisen vuoden häviöt. Kapitalisointikerroin saadaan kaavasta:

$$\kappa = \Psi \frac{\Psi^t - 1}{\Psi - 1} \quad (34)$$

missä κ kapitalisointikerroin
 Ψ tehonkasvun ja laskentakoron huomioon ottava kerroin
 t tarkastelu aika

Tehonkasvu kerroin taas saadaan kaavasta:

$$\Psi = \frac{(1 + \frac{r}{100})^2}{1 + \frac{p}{100}} \quad (35)$$

missä r tehonkasvu prosentteina vuodessa
 p laskentakorko prosentteina

Yrityslainojen keskiporko on tällä hetkellä noin 2 % (20.3.2013 Suomen pankin www-sivut). Koska korkojen arvioimista on vaikea ennustaa, tässä opinnäytetyössä käytettiin 4 % korkoa ja tarkasteluaikana 15 vuotta.

Häviöiden kustannukset saadaan kertomalla häviöt vuotuisella käyttöajalla ja energian markkinahinnalla. Tässä opinnäytetyössä käytetään 8500h käynti tuntia vuodessa, joka johtuu siitä, että haluttiin jättää pois laskennasta seisokkiajat. Energian hinnan saa www.nordpoolspot.com sivulta. Sähkön veroton keskihintaa vuodelta 2012 on 36,64€(Nord Pool Spot).

Tässä opinnäytetyössä ei oteta huomioon huolto-, korjaus- tai muita seisokki kustannuksia. Lisäksi jätetään huomioimatta tilan, rakentamisen ja talotekniikan vaatimat kustannukset sekä keskuksien ja muuntajien asennuksen aiheuttamia kustannukset.

5 JAKELUJÄRJESTELMIEN VERTAILU

5.1 Jännite valintojen vaikutus

Tässä työssä ei tehdä vertailua 10 kV:n ja 20 kV:n eikä 6 kV:n keskijännitteiden välillä. Kattiloiden tehot sen verran pieniä, ettei ole luultavasti suurta vaikutusta jakelujännitteellä keskijännitekojeistojen hintaan. Lisäksi monella asiakkaalla on jo oma keskijännitejakeluverkko, joka asettaa omat perusteet valinnoille. 10 kV:n ja 6 kV:n järjestelmässä voidaan generaattorit ja suurimmat moottorit liittää suoraan verkkoon, joten säästetään muuntajia.

5.2 Jännitteiden vertailu 400V ja 690V

Näiden jännitteiden kohdalla vertaillaan lähinnä taloudellisia eroja. Moottorien tehon yläarvoksi 400V:n jännitteellä valittiin 315kW. Yli 315 kW:n moottoreina käytetään 3,3kV moottoreita, joka on yleinen taajuusmuuttaja käytöissä keskijännitteellä. 690V:n järjestelmällä ei laitettu ylärajaa, koska suurin moottori on teholtaan 1250 kW. Kattiloilla kaikki isot moottorit, jotka ovat 37kW tai sitä suurempia on toteutettu taajuusmuuttaja käytöllä. Tämä vertailu tehtiin kuvion 19 mukaiselle järjestelmälle ja siinä käytettiin moottorilistaa, joka löytyy liitteestä 1.

Järjestelmien investointikustannukset muutetaan annuiteettimenetelmää hyväksi käyttäen vuosikustannuksiksi, jotta voidaan vertailla niitä ja häviökustannuksia keskenään. Käytetään viidentoista vuoden kuoletusaikaa. Häviökustannuksissa käytetään vuoden 2012 keskihintoja Nord Pool Spot ja Energiateollisuus ry.

Isojen moottoreiden ja taajuusmuuttajien hyötysuhteena käytetään 0,97 ja pienemmille ja keskijännitemoottoreille 0,92. Cosφ arvona käytetään 0,86. Kuormituksen laskennassa käytetään 60% maksimista, joka on yleinen teollisuuden sähkösuunnittelussa käytetty mitoitus. Moottorien tehot ja määrät on esitetty taulukossa 3. Häviöitä laskiessa lasketaan moottoreiden tehot nimellisteholla ja kerrotaan se sitten 0,6, jotta saadaan todellista kuormitusta vastaava tehot, taulukossa 4 on esitetty moottorien häviöiden

määrä. Muuntajista lasketaan niiden kuormitushäviöt. Kuormitushäviöt saadaan laskettua muuntajien kuormista. Muuntajien kuormien laskemiseen on käytetty 60% moottorien nimellisistä arvoista. Käynti aikana käytetään 8500h vuodessa. Muuntajien tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöiden lasketut arvot näkyvät taulukossa 5. Lisäksi liitteessä 2 näkyy moottorien ja muuntajien häviöiden kustannukset. Kaapeleiden keskipituutena käytetään 100m ja häviöiden laskennassa otetaan huomioon 60% kuormitus(liite 4). Kaapeleiden mitoitus, häviöt ja investointikustannukset on esitetty liitteessä 2 ja 4.

Taulukko 3. Moottorien ja taajuusmuuttajien määrät ja tehot

Moottori kW	0,12	0,18	0,2	0,37	0,55	0,75	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11	22	30	37	55	250	315	560	1000	1250
Moottori kpl	2	1	7	24	9	9	4	11	7	1	8	3	8	2	1	2	1	1	1	1	2	1
Taajuusmuuttaja								2			4		2			2	1	1	1	1	2	1

Lasketaan moottori tehojen perusteella muuntajien kuormat, jotka voidaan laskea kaavoista:

$$P = \frac{P_k}{\eta} \quad (28)$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} \quad (29)$$

$$Q = \sqrt{3} * U * I * \sin\varphi \quad (30)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (31)$$

missä	P	verkosta otettu pätöteho
	P _k	muuntajaan liitettyjen moottorien tehojen summa
	S	näennäisteho
	Q	loisteho
	cosφ	tehokerroin
	sinφ	loistehokerroin
	η	moottorin hyötysuhde nimelliskuormalla.

5.3 Tulokset

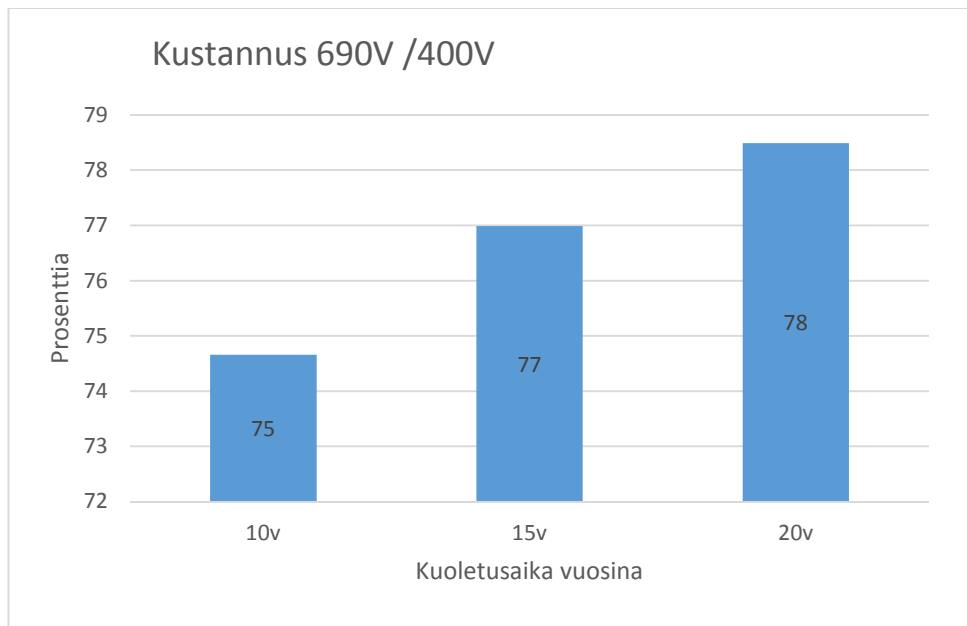
Järjestelmien vertailussa saatuja tuloksia esitetään liitteissä 2-5 ja tässä kappaleessa. Kuviosta 18 nähdään kuinka monta prosenttia 690V:n järjestelmä kustannus on 400V:n järjestelmään verrattuna. Kustannusten jakautuminen 15 vuoden kuoletusaikaa käyttäen huomataan, että 690 V:n järjestelmässä häviökustannukset on jonkin verran suuremmat, johtuen lähinnä kaapelihäviöistä(liite2), koska 400 voltin jännitteellä isoimmat moottorit on toteutettu 3,3kV:n jännitteellä ja niiden osuus on noin 80% tehosta. Tästä johtuen suurempien moottoreiden häviö kustannukset on pienemmät 400V järjestelmällä. Investointi kustannukset ovat 400V:n järjestelmässä suuremmat, kuten liitteestä 2 nähdään.

Taulukko 4. Moottorien häviöt kW

Moottori kW	Moottori kpl	Teho yhteensä	Häviöt 400V	Häviöt 690V	Häviöt 3,3kV
0,12	2	0,24	0,01	0,01	
0,18	1	0,18	0,01	0,01	
0,2	7	1,4	0,07	0,07	
0,37	24	8,88	0,46	0,46	
0,55	9	4,95	0,26	0,26	
0,75	9	6,75	0,35	0,35	
1,5	4	6	0,31	0,31	
2,2	11	24,2	1,26	1,26	
3	7	21	1,10	1,10	
4	1	4	0,21	0,21	
5,5	8	44	2,30	2,30	
7,5	3	22,5	1,17	1,17	
11	8	88	4,59	4,59	
22	2	44	2,30	2,30	
30	1	30	1,57	1,57	
37	2	74	3,86	3,86	
55	1	55	2,87	2,87	
250	1	250	13,04	4,64	
315	1	315	16,43	16,43	
560	1	560		10,39	29,22
1000	2	2000		37,11	104,35
1250	1	1250		23,20	65,22
			52,18	114,48	198,78

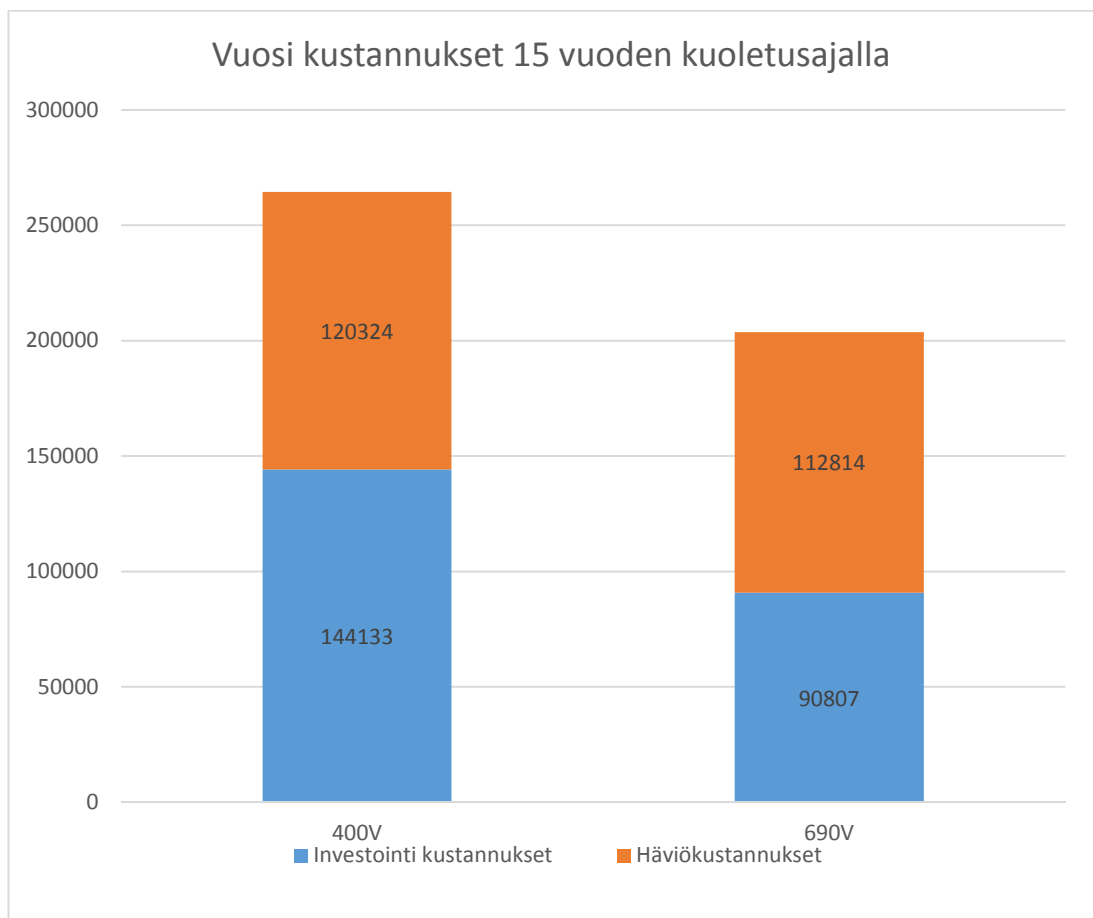
Taulukko 5. Muuntajien häviöt

Muuntaja teho	Muuntaja Jännite	Kpl 690V	Kpl 400V	Tyhjäkäynti häviöt/kW 690V	Tyhjäkäynti häviöt/kW 400V	Tyhjäkäynti häviöt/kW 3,3V	Kuormitus häviöt/kW 690V	Kuormitus häviöt/kW 400V	Kuormitus häviöt/kW 3,3 kV
2000KVA	10kV/400V	1	2	4,2	8,4		0,5	2,0	
3150KVA	10kV/720V	2	0	13,0	0,0		24,8	0,0	
780KVA	10kV/720V		1			2,8			3,1
1240KVA	10kV/3,3kV		2			7,2			10,1
1540KVA	10kV/3,3kV		1			3,8			5,9
Häviöt				17,2	8,4	13,8	25,4	2,0	19,1



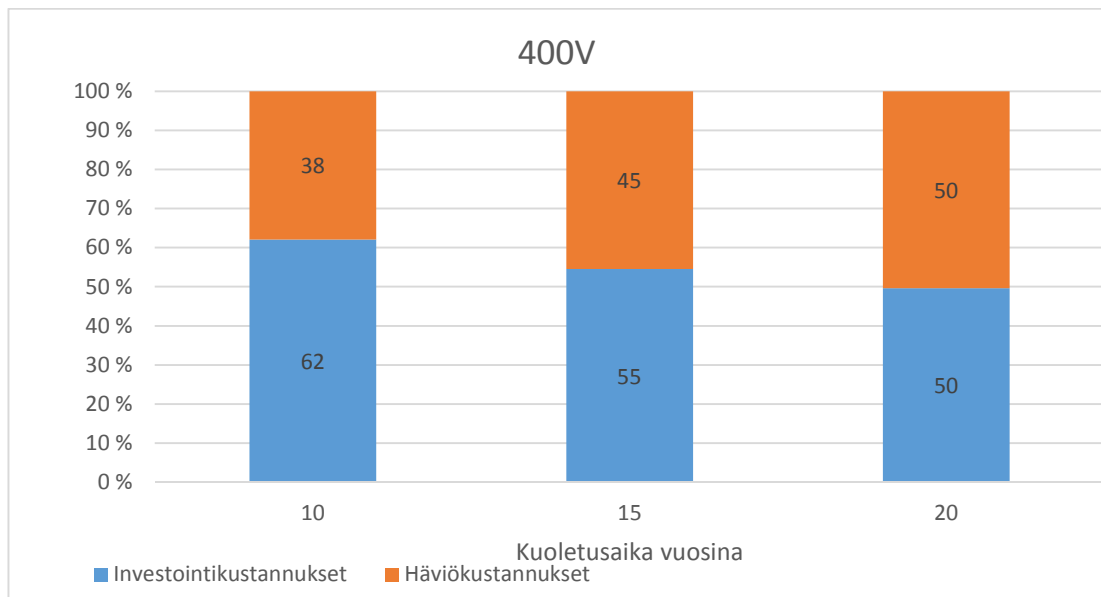
Kuvio 18. Jännitteen 690V kustannus prosentteina 400V:sta.

Kuviosta 19 nähdään 15 vuoden kuoletus ajalla kustannusten jakautuminen 690V ja 400V välillä. 400V järjestelmä sisältää 3,3 kV:n häviöt ja investoinnit.

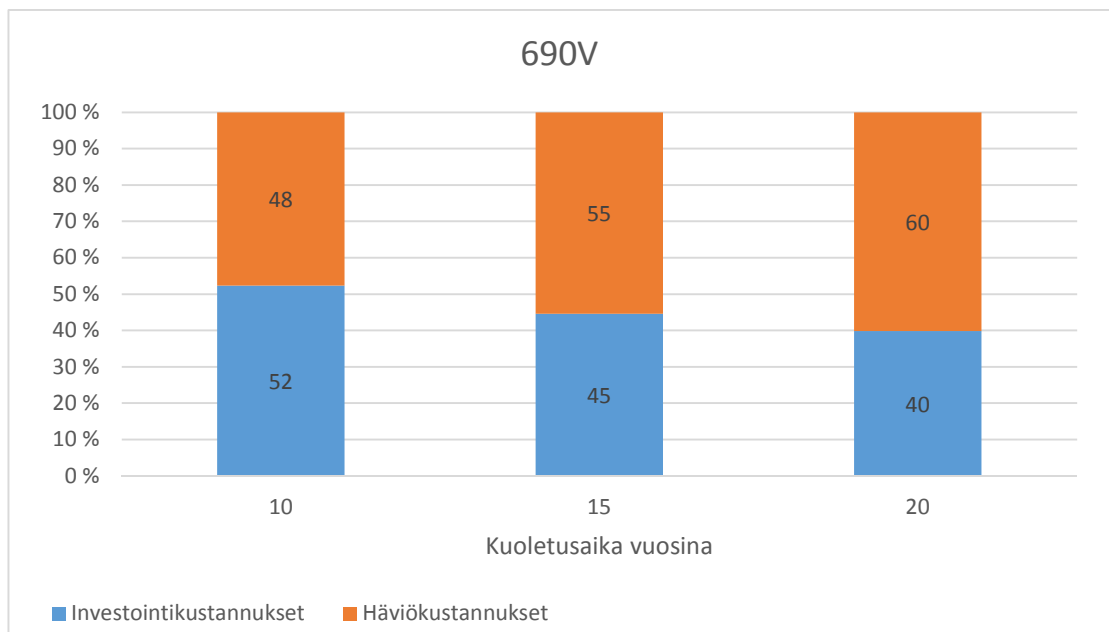


Kuvio 19. Investointi ja häviö kustannusten jakautuminen 15 vuoden kuoletusajalla.

Investointiajan vaikutus kustannuksiin eri kuoletusajoilla 400V:lla nähdään kuvista 20. Kuviossa 21 on esitetty sama asia 690V:n jännitteellä. Kuten kuvista nähdään, investointi ajan pidentyessä investointi kustannukset jakaantuu useammalle vuodelle, josta johtuen mitä pitempi on kuoletusaika, sitä pienemmät investointi kustannukset on vuositasolla.



Kuvio 20. Kustannusten jakautuminen 400V:lla eri kuoletusajoilla



Kuvio 21. Kustannusten jakautuminen 690V:lla eri kuoletusajoilla

Taulukossa 6 näkyy eri laitteiden ja kaapeleiden hankinnan ja asennuksen aiheuttamat investointi kustannukset vuodessa 15 vuoden kuoletus ajalla. Häviökustannukset, jotka ovat 15 vuoden ajalta, näkyvät samassa taulukossa yhtenä kokonaisuutena, tarkemmin esitettynä liitteessä 2.

Taulukko 6. Vuosikustannukset

Jännitteiden kustannusvertailu	Kustannukset €/vuosi	Kustannukset €/vuosi
Jännite	400V+3,3kV	690V
Moottorit	5045	17413
Keskijännite moottorit	37044	-
Taajuusmuuttajat	3292	12047
Keskijännitetajuusmuuttajat	46800	-
Muuntajat	5130	10665
Keskijännitekytkinlaitos	18900	12150
Pienjännitemoottorikeskukset	11421	14360
Kaapelointi+kaapelit pienjännite	14701	24171
Kaapelointi+kaapelit keskijännite	1800	-
Häviöt	25007	112792
Häviöt keskijännite	95317	-
Yhteensä	264457	203599

Oikosulkuvirrat laskettiin myös keskijännitteelle generaattorin napojen lähellä ja tulokseksi saatiin alle 30 kA oikosulkuvirtoja. Näin ollen niillä ei ole merkitystä keskijännitekojeistojen hintaan. Tarkemmat lasku tulokset on esitetty liitteessä 4.

6 MALLIVOIMALAITOKSIEN VERTAILU

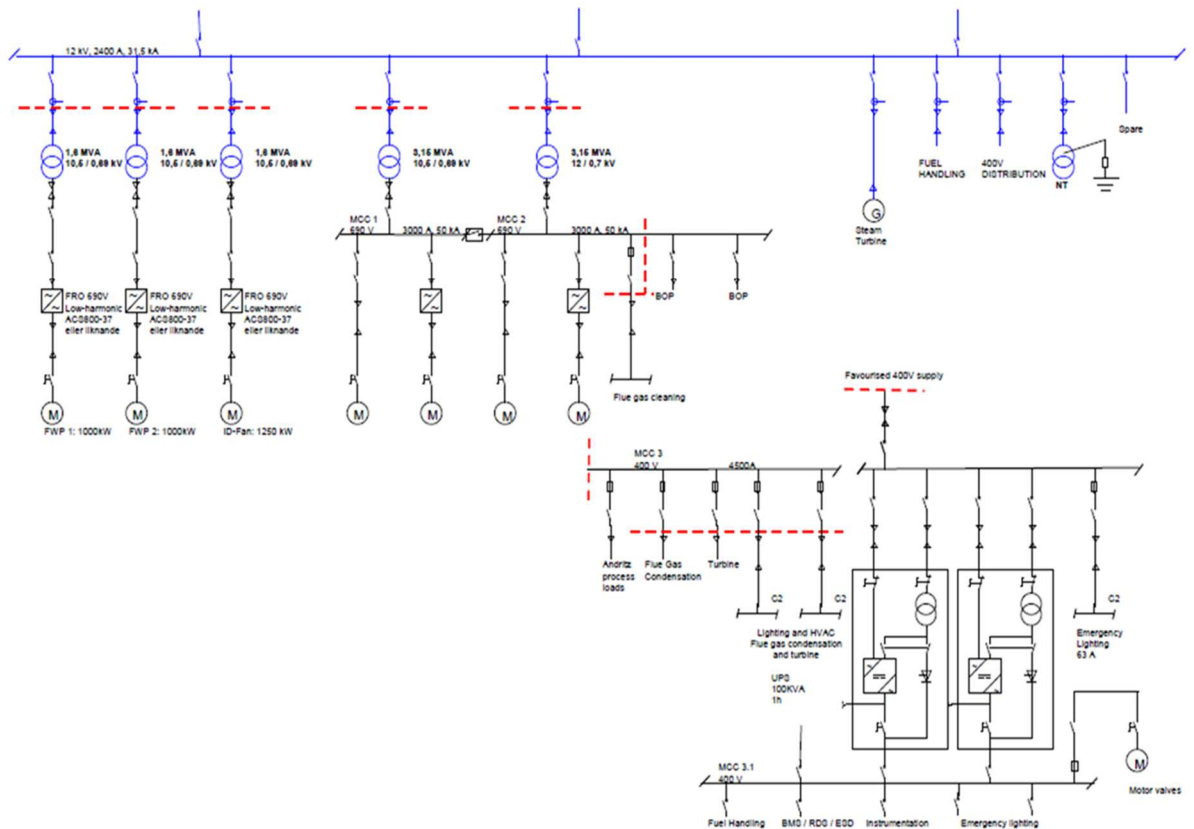
6.1 Jännitevalinnat ja rakenneratkaisut

Opinnäytetyössä verrataan kolmella erilaisella tavalla toteutettua järjestelmää, järjestelmät on Andritz valinnut ja toimittanut jakelukaaviot. Järjestelmät on toteutettu hieman erilailla. Varmennettu verkko on toteutettu kaikissa tapauksissa samallailla, verkkoon on liitetty moottoriventtiilit, valaistus, nuohaimet sekä automaatiojärjestelmät ja kriittinen instrumentointi. Tässä työssä ei oteta kantaa niiden kustannuksiin ja teknisiin vaikutuksiin. Järjestelmien vertailussa käytetään yhden laitoksen moottorilistaa, joka löytyy liitteestä 1 ja moottorien tehot ja lukumäärät taulukon 3 mukaisesti. Keskijännitejakeluna käytetään 10kV:n järjestelmää, jotta tuloksia voidaan vertailla.

Eri järjestelmien kustannukset muutetaan vertailukelpoisiksi käyttäen annuiteetti menetelmää, jolla investointikustannukset saadaan vuosikustannuksiksi 15 vuoden kuoletusaikaa käyttäen ja 4% korkoa. Järjestelmille lasketaan vuosittaiset häviökustannukset(kaapelit, moottorit, muuntajat ja taajuusmuuttajat). Kuten jo edellä on todettu käytetään häviöiden laskentaan 8500h ja muuntajien tyhjäkäyntihäviöiden laskuun 8760h. Kustannusten laskemiseen käytetään Nord Pool Spotin vuoden 2012 keskihintaa. Huomioimatta jätetään huolto-, korjaus- tai seisokkikustannukset sekä tilan, rakentamisen ja talotekniikan vaatimat kustannukset. Lisäksi huomioimatta jätetään myös keskuksien ja muuntajien asennuksen aiheuttamat kustannukset.

6.2 Järjestelmä 1

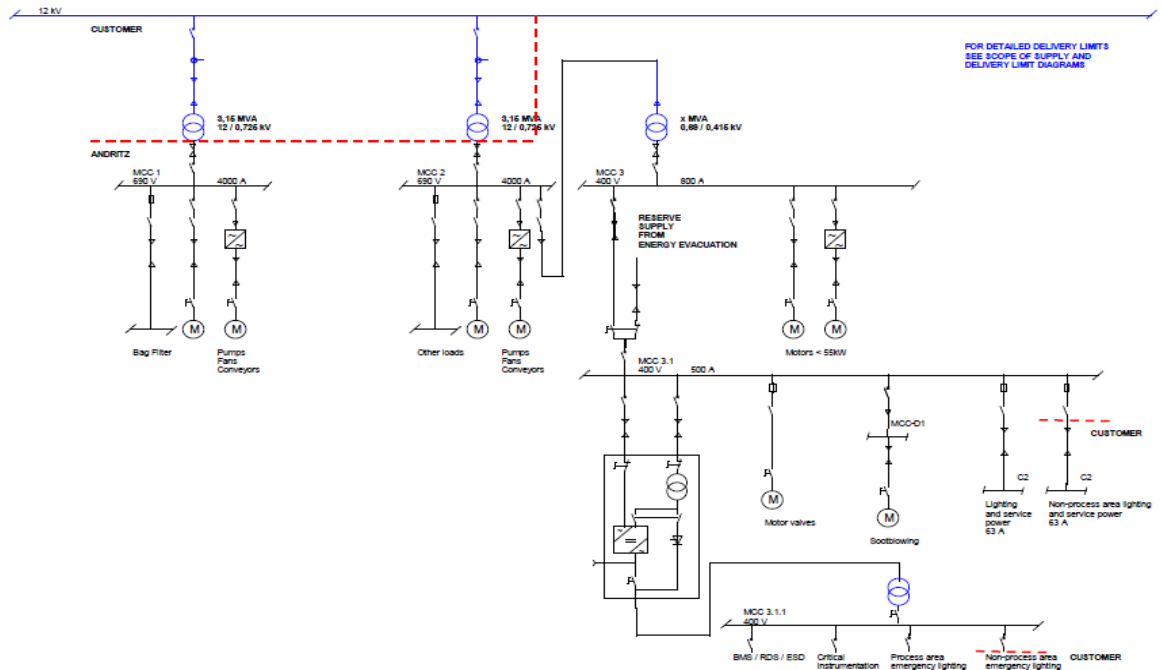
Tässä järjestelmässä keskijännitejakelu tapahtuu 10kV verkossa. Pienjännitejakelu tapahtuu 690V lukuun ottamatta varmennettua verkkoa ja valaistusta, joiden jakelu tapahtuu 400V. Muuntajia on kuusi kappaletta. Tässä 1000kW ja sitä suuremmat moottorit on tuotu kukin omalla muuntajalla. Lisäksi on 3,15MVA:n muuntajia 2 kpl ja valaistusmuuntaja on teholtaan 2MVA:ta.



Kuvio 22. Järjestelmän 1 jakeluverkko

6.3 Järjestelmä 2

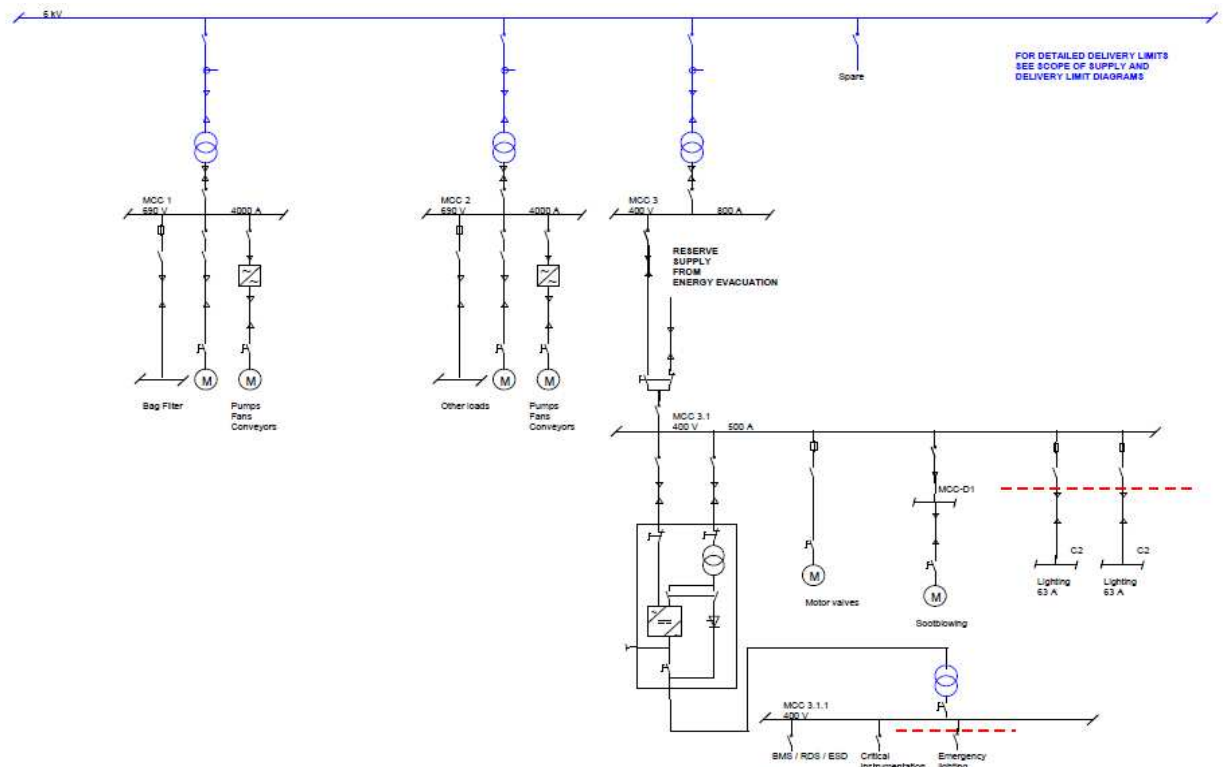
Järjestelmän 2(kuviossa 23) keskijännitejakeluverkkona on 10kV. Pienjännitejakelu tapahtuu 690V lukuun ottamatta varmennettua verkkoa ja valaistusta, joiden jakelu tapahtuu 400V. Muuntajia on 2 kpl 3,15MVA:n muuntajaa ja yksi 690/400V, josta syötetään pienimmät moottorit, valaistus ja varmennettu verkko.



Kuvio 23. Järjestelmän 2 jakeluverkko

6.4 Järjestelmä 3

Järjestelmän 3 keskijännitejakeluverkkona on 10kV. Pienjännitejakelu tapahtuu 690V lukuun ottamatta varmennettua verkkoa ja valaistusta, joiden jakelu tapahtuu 400V. Muuntajia on 2 kpl 2,5MVA:n muuntajaa ja 2MVA, josta valaistus sekä varmennettu verkko syötetään. Kuviossa 24 näkyy järjestelmän toteutustapa.



Kuvio 24. Järjestelmän 3 jakeluverkko

7 KAHDENNETTUIJEN JÄRJESTELMIEN HYÖTY

Yksi- ja kaksikiskojärjestelmien osalta vertailtiin keskijännitekojeistojen hintaa ja siitä tulevaa hyötyä, jos voimalaitoksen alasajo olisi voitu välttää kaksikiskojärjestelmän avulla. Eli selvitettiin kuinka paljon esimerkiksi maksaa kattilan seisokki kustannukset ja kuinka nopeasti kaksikiskojärjestelmän hinta esimerkiksi vikatilanteissa tulisi katettua.

Keskijännitekiskostojen vikaantumisen todennäköisyydestä ei löytynyt materiaalia tai ne eivät olleet julkista tietoa. Katkaisijoista löytyi tietoa ja ne ovat huoltovapaita. Vikaantumisen todennäköisyys on eri lähteiden mukaan lähes olematon (tuhansia vuosia).

Tarkastellaan kustannuksia, joita tulee kun kattila on pois tuotannosta ja ne on esitetty taulukossa 7. Tarkastellaan kustannuksia laitoksen käydessä 85 prosentin teholla. Sähkön keskihinta vuodelle 2012 Suomessa oli 36,64€ MWh(Nord Pool Spot). Kaukolämmölle käytetään hintaa 57,46€, joka on määritelty lähinnä yhteistuotannolla tuottavien laitosten painotetusta keskiarvosta. (Energiateollisuus ry).

Taulukko 7. Seisokin aiheuttamat kustannukset

Tuotanto taulukko / seisokkihinta				
Energia	Markkina hinta €/MWh	Tuotanto MW	Hinta €/vrk	Hinta €/tunti
Sähkö	36,64	35	30777,6	1282,4
Kaukolämpö	57,46	50	68952	2873
Yhteensä			99729,6	4155,4

Keskijännite kojeistossa on kaksi syöttöyksikköä ja neljä lähtöyksikköä ja sen hinta on 16000€. Kaksikiskojärjestelmän hinta saadaan kertomalla yksikiskojärjestelmän kojeiston hinta kahdella, jolloin sen kustannus on 320000€ eli 160000€ kalliimpi. Kuten taulukosta 5 nähdään, laskettu vuorokausi seisokki hinta on noin 100000€. Laitoksen voi olla pois tuotannosta noin puolitoista vuorokautta kojeiston elinkaaren aikana ennen kuin kaksikiskojärjestelmä olisi edullisempi investointi.

8 POHDINTA

Opinnäytetyössä tutkittiin 400V:n ja 690V:n järjestelmien kustannuksia, jotka muodostuvat monista eri tekijöistä. On vuosikustannuksia, jotka aiheutuvat eri laitteiden ja kaapeleiden häviöistä sekä huoltokustannuksista. Investointikustannukset, jotka ovat kertaluontoisia kustannuksia. Investointi kustannuksia syntyy rakentamisesta, laitteiden ja kaapeleiden hinnoista sekä asennuksista. Investointikustannukset on huomattavasti pienemmät 690V järjestelmällä. 400V järjestelmässä investointi kustannukset johtuvat suuritehoisimpien käyttöjen toteutuksesta keskijännitteellä. Häviö kustannuksissa ei ole huomattavaa eroa, mikä taas johtuu keskijännite kaapelihäviöistä. Ne ovat huomattavasti pienemmät kuin 690V järjestelmän häviöt. Kokonais häviökustannukset ovat kuitenkin hieman pienemmät 690V järjestelmällä.

Eri järjestelmien vertailussa erot olivat vähäiset, johtuen laitteistojen samankaltaisuudesta. Yksi vertailluista järjestelmä oli hieman kalliimpi johtuen lähinnä siitä, että järjestelmässä oli muuntajia enemmän.

Kaksikiskojärjestelmän hinta oli kalliimpi yksikiskojärjestelmään verrattuna. Todennäköisyys kiskosto tai katkaisija vikaan on pieni. Kiskostosta johtuvasta viasta, kiskosto voi olla pois käytöstä noin puolitoista vuorokautta toiminta aikanansa ennen kuin kaksikiskojärjestelmän hyöty tulisi esiin.

Työssä saavutettiin tavoitteet asetetut tavoitteet. Saatiin tehtyä vertailut erilaisten järjestelmien välillä. Saatiin muodostettua taulukoita ja kuvioita, mistä on helppo selventää järjestelmien hintaeroja.

LÄHTEET

ABB:n www-sivut. 18.3.2013.

<<http://www.abb.com.co/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>>

ABB. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Uudistettu 9 painos. Vaasa 2000.

ABB. ABB industrial drivers ACS-800, multidrivens 1.1-5600KW catalog

ABB. High voltage induction motors Technical catalog for IEC motors

ABB. Low voltage Process performance motors catalog.

ABB. Kojevalintataulukot 400...690 aM ja gG 2011.

Andritzin www-sivut. Hakupäivä 24.2.2014.

<http://www.andritz.com/group/gr-about-us/gr-history.htm>>

Andritzin www-sivut. Hakupäivä 24.2.2014.

<<http://www.andritz.com/automation.htm>

Andritz. Biokattila. Esitelehtinen.

Andritz. Andritzin omat hintatiedostot.

Asp, Risto & Timo Tuominen & Heikki, Hyppönen. Hakupäivä 10.3.2014.

<<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/sahkotekniikka.html>>

Draka keskijännitekaapelit 3-johtiminen 20 kV maakaapeli AHXAMK-W 12/20 kV. ©

Draka NK Cables Oy. 2004.

Draka voimakaapelit 0,6/1kV MCMK 0,6/1 kV.

Energiatollisuuden www-sivut. Hakupäivä 24.4.2013.

<http://www.energia.fi/sites/default/files/hinta_010113_0.pdf>

Etto, Jaakko. Kunnossapitokoululehti numero 48. Erikoisliite. Prosessisähköistyksen kunnossapito, osa 2. 1998.

Hytönen, Vesa. Voimalaitosten suuritehoisten sähkökäyttöjen investointikustannusten optimointi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere.

Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008. Sähköjaketekniikka. Helsinki: Hakapaino.

Lyytikäinen, Heikki. Teollisuuden sähköjaketuverkon mallintaminen. Opinnäytetyö. Savonia-Ammattikorkeakoulu. Kuopio.

Martimo, Antero. Sähköverkot luentomoniste 2012 versio 3.

Nordspoolin www-sivut. Hakupäivä 15.5.2013.

<<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Hourly/>>

Siemens. Geafol 100 to 16000kVA Cast-Resin Transformes Catalog TV1. 2007.

Suomen pankin www-sivut. Hakupäivä 20.3.2013.

<http://www.suomenpankki.fi/fi/tilastot/tase_ja_korko/Pages/tilastot_rahallaitosten_lainat_talletukset_ja_korot_lainat_talletusten_ja_lainojen_korot_fi.aspx>

Tulli. Energiaverotusohje 12.3.2013. Hakupäivä 2.4.2013.

<<http://www.tulli.fi/fi/yrityksille/verotus/valmisteverotettavat/energia/lisatieto/energiaverotusohje.pdf>>

VTT 2004. Energia Suomessa. Uudistettu 3 painos. Helsinki: Edita.

LIITTEET

- Liite 1. Moottoriluettelo
- Liite 2. Jännitteiden kustannusvertailu
- Liite 3. Kustannusvertailu eri tapausten kesken
- Liite 4. Oikosulkuvirta laskut